

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.31

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.А. Попов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Моніторинг рівнів енергоефективності в навчальних закладах м.
Києва»

Виконала: студентка VI курсу, групи ОН-з91мп

Федіна Олександра Олександрівна

(прізвище, ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Бориченко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра електропостачання
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Федіній Олександрі Олександрівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Моніторинг рівнів енергоефективності в навчальних закладах м. Києва»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3198-с
2. Строк подання студентом дисертації 14 грудня 2020 року
3. Об'єкт дослідження навчальні заклади м. Києва
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) система моніторингу навчальних закладів м. Києва
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - Аналіз існуючих методів та підходів до моніторингу витрат енергоносіїв у навчальних закладах;
 - Проведення енергетичного обстеження стану типового навчального закладу, визначення показників огорожувальних конструкцій;
 - Аналіз інженерних систем будівлі та оцінка потенціалу енергоефективності навчального закладу з розробкою заходів з підвищення енергетичної ефективності;
 - Визначення базового рівня енергоспоживання навчального закладу з використанням регресійного аналізу;
 - Розробка та створення системи моніторингу енергетичної ефективності навчальних закладів;

- Розробка стартап проекту за результатами дослідження.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (порівняння програмного забезпечення для енергомоніторингу, алгоритм вимірювання і верифікації, графіки споживання ПЕР, тепловтрати через огорожувальні конструкції, енергобаланс, класифікація навчальних закладів, базовий рівень споживання теплової енергії та довірчий інтервал до нього).

7.Орієнтовний перелік публікацій Результати за тематикою роботи обговорювалися та доповідалися на III науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 26-27 листопада 2020 р., ІЕЕ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ. Результати дисертації опубліковано в статті за темою: «Моніторинг енергоефективності навчальних закладів м. Києва».

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 01 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Аналіз існуючих методів та підходів до моніторингу витрат енергоносіїв у навчальних закладах	01.09.20-30.09.20	Виконано
2	Проведення обстеження об'єктів дослідження	01.10.20	Виконано
3	Проведення енергетичного аудиту типового закладу освіти	01.10.20-31.10.20	Виконано
4	Побудова базового рівня енергоспоживання	01.11.20-06.11.20	Виконано
5	Розробка системи моніторингу енергетичної ефективності навчальних закладів	07.11.20-21.11.20	Виконано
6	Розробка стартап проекту	22.11.20-29.11.20	Виконано
7	Оформлення дисертації	30.11.20-05.12.20	Виконано
8	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	30.10.20-10.12.20	Виконано
9	Передзахист МД	10.12.20-14.12.20	Виконано
10	Захист дисертації	17.12.20-22.12.20	Виконано

Студент

(підпис)

О.О. Федіна

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

О.В.Бориченко

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Моніторинг рівнів енергоефективності в навчальних закладах м. Києва» складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Містить 118 сторінок тексту, в тому числі 28 ілюстрацій, 29 таблиць, 35 бібліографічних найменувань за переліком.

Актуальність теми. Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ. Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії, що допомагає відстежувати рівень енергоефективності та оцінювати ефект від впроваджених заходів.

Метою магістерської дисертації є підвищення енергетичної ефективності навчальних закладів м. Києва з побудовою системи моніторингу енергоспоживання.

Для досягнення поставленої мети дослідження були вирішені наступні **завдання:**

- Аналіз існуючих методів та підходів до моніторингу витрат енергоносіїв у навчальних закладах;
- Проведення енергетичного обстеження стану типового навчального закладу, визначення показників огорожувальних конструкцій;

- Аналіз інженерних систем будівлі та оцінка потенціалу енергоефективності навчального закладу з розробкою заходів з підвищення енергетичної ефективності;
- Визначення базового рівня енергоспоживання навчального закладу з використанням регресійного аналізу;
- Розробка та створення системи моніторингу енергетичної ефективності навчальних закладів;
- Розробка стартап проекту за результатами досліджень.

Об'єктом дослідження є навчальні заклади м. Києва.

Предметом дослідження є система моніторингу енергоефективності навчальних закладів м. Києва.

Методи дослідження. У дисертації використані теоретичні та розрахункові методи побудови базового рівня енергоспоживання за допомогою багатфакторного регресійного аналізу та контрольних карт Шухарта. Магістерська дисертація оформлена за допомогою текстового редактору Microsoft Word. Розрахунок та обробка табличних даних проводилась у програмі Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці та створенні системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів, яка ґрунтується на використанні багатфакторного регресійного аналізу та контрольних карт Шухарта, що дозволяє визначати зниження або підвищення ефективності енерговикористання, а також отримувати об'єктивну кількісну оцінку економії або перевитрати енергії.

Практичне призначення роботи. Побудова системи енергомоніторингу на практиці дозволяє виявити перевитрату енергоресурсів, аварійні ситуації, недотримання нормативних мікрокліматичних умов в закладах, шляхом збору даних щодо параметрів будівлі, побудови базового рівня енергоспоживання та виявлення чинників, які найбільше впливають на нього.

Апробація результатів роботи відбулася на III науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 26-27 листопада 2020 р., ІЕЕ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ. Секція: «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією».

Публікації. Результати дисертації опубліковано в статті за темою: «Моніторинг енергоефективності навчальних закладів м. Києва» у збірнику III науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Ключові слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, БАЗОВИЙ РІВЕНЬ, ДОВІРЧИЙ ІНТЕРВАЛ, РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ, КАРТИ ШУХАРТА, НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД.

ABSTRACT

The master's thesis on the topic: "Monitoring energy efficiency levels in educational institutions in Kiev" consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of sources used. Contains 118 pages of text, including 28 illustrations, 29 tables, 35 bibliographic titles according to the list.

Relevance of the topic. The relevance of the problem of energy saving for buildings of budget organizations, on the one hand, is due to the social significance of these objects, on the other hand, wasteful energy consumption and the lack of a systematic approach to the implementation of energy-saving measures are among the main causes of budget deficits at all levels. Despite the fact that recently almost no new public sector facilities have been put into operation, the main energy saving reserves are in the field of improving the energy consumption of previously built buildings of budgetary institutions. One of the most important components of the process of managing energy saving and improving the energy efficiency of the public economy is the implementation of systematic monitoring of the level of fuel and energy efficiency, which helps to monitor the level of energy efficiency and assess the effect of implemented measures.

The purpose of the master's thesis is to increase the energy efficiency of educational institutions in Kiev with the construction of a system for monitoring energy consumption.

To achieve this research goal, the following **tasks** were solved:

- Analysis of existing methods and approaches to monitoring energy consumption in educational institutions;
- Conducting an Energy Survey of the state of a typical educational institution, determining the indicators of enclosing structures;
- Analysis of the building's engineering systems and assessment of the energy efficiency potential of the educational institution with the development of measures to improve energy efficiency;

- Determination of the basic level of energy consumption of an educational institution using regression analysis;
- Development and creation of a system for monitoring the energy efficiency of educational institutions;
- Development of a startup project based on research results.

The object of research is educational institutions in Kiev.

The subject of the research is the Energy Efficiency Monitoring System of educational institutions in Kiev.

Research methods. The dissertation uses theoretical and computational methods for constructing the basic level of energy consumption using multivariate regression analysis and Schuhart control maps. The master's thesis is designed using the Microsoft Word text editor. Tabular data was calculated and processed in Microsoft Excel.

The scientific novelty of the results obtained consists in the development and creation of a system for monitoring the energy efficiency of educational institutions, which is based on the use of multi-factor regression analysis and Schuhart control maps, which allows you to determine the decrease or increase in energy efficiency, as well as to obtain an objective quantitative assessment of energy savings or overspending.

Practical purpose of the work. Building an energy monitoring system in practice allows you to identify energy overspending, emergencies, non-compliance with regulatory microclimatic conditions in institutions, by collecting data on building parameters, building a basic level of energy consumption and identifying factors that most affect it.

Approbation of the results of the work took place at the III scientific and Technical Conference of undergraduates of the IEE (based on the results of dissertation research of undergraduates), November 26-27, 2020, IEE NTUU "Igor Sikorsky KPI", Kiev. Section: "Sustainable energy development. Modern electric energy supply systems".

Publications. The results of the dissertation are published in the article on the topic: "Monitoring the energy efficiency of educational institutions in Kiev" in the collection of the III scientific and Technical Conference of undergraduates of the IEE (based on the results of dissertation research of undergraduates).

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, ENERGY MONITORING, ENERGY AUDIT, BASELINE, CONFIDENCE INTERVAL, REGRESSION ANALYSIS, SHEWHART MAPS, EDUCATIONAL INSTITUTION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО МОНІТОРИНГУ ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІЇВ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ.....	14
1.1 Необхідність моніторингу енергоефективності.....	14
1.2 Типові заходи щодо економії енергоносіїв в бюджетних закладах.....	17
1.3 Технічне забезпечення моніторингу	18
1.3.1 Рекомендації USAID.....	18
1.3.2 Огляд програмного забезпечення для енергомоніторингу.....	19
1.4 Метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб	24
1.5 Огляд ISO 50015:2014, IDT Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова.	29
1.5.1 Сфера застосування	29
1.5.2 План вимірювань та верифікації.....	30
1.5.3 Реалізація плану вимірювання і верифікації	36
Висновки до розділу 1	40
2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТИПОВОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ	42
2.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження	42
2.2 Дослідження огорожувальних конструкцій	48
2.3 Аналіз інженерних систем будівлі	60
2.4 Розробка заходів з підвищення енергоефективності.....	65
2.5 Побудова базового рівня енергоспоживання	74
2.6 Класифікація навчальних закладів.....	77

	11
2.7 Критерії порівняння закладів за ефективністю енергоспоживання	79
Висновки до розділу 2	82
3 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ	83
3.1 Побудова базового рівня енергоспоживання на основі регресійного аналізу.....	83
3.2 Визначення довірчого інтервалу до рівняння базового рівня енергоспоживання.....	90
3.3 Розробка системи моніторингу енергоефективності.....	94
3.3.1 Моніторинг енергетичної ефективності на основі побудови графіка CUSUM.....	94
3.3.2 Моніторинг енергетичної ефективності з використанням контрольних карт Шухарта.....	96
Висновки до розділу 3	102
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	103
4.1 Опис ідеї проекту	103
4.2 Технологічний аудит проекту	103
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	106
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	109
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	110
Висновки до розділу 4	111
ВИСНОВКИ.....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ. Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії, що допомагає відстежувати рівень енергоефективності та оцінювати ефект від впроваджених заходів.

Метою магістерської дисертації є підвищення енергетичної ефективності навчальних закладів м. Києва з побудовою системи моніторингу енергоспоживання. Для досягнення поставленої мети дослідження були вирішені наступні **завдання**:

- Аналіз існуючих методів та підходів до моніторингу витрат енергоносіїв у навчальних закладах;
- Проведення енергетичного обстеження стану типового навчального закладу, визначення показників огорожувальних конструкцій;
- Аналіз інженерних систем будівлі та оцінка потенціалу енергоефективності навчального закладу з розробкою заходів з підвищення енергетичної ефективності;
- Визначення базового рівня енергоспоживання навчального закладу з використанням регресійного аналізу;
- Розробка та створення системи моніторингу енергетичної ефективності навчальних закладів;

- Розробка стартап проекту за результатами досліджень.

Об'єктом дослідження є навчальні заклади м. Києва.

Предметом дослідження є система моніторингу енергоефективності начальних закладів м. Києва.

Методи дослідження. У дисертації використані теоретичні та розрахункові методи побудови базового рівня енергоспоживання за допомогою багатфакторного регресійного аналізу та контрольних карт Шухарта. Магістерська дисертація оформлена за допомогою текстового редактору Microsoft Word. Розрахунок та обробка табличних даних проводилась у програмі Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці та створенні системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів, яка ґрунтується на використанні багатфакторного регресійного аналізу та контрольних карт Шухарта, що дозволяє визначати зниження або підвищення ефективності енерговикористання, а також отримувати об'єктивну кількісну оцінку економії або перевитрати енергії.

Практичне призначення роботи. Побудова системи енергомоніторингу на практиці дозволяє виявити перевитрату енергоресурсів, аварійні ситуації, недотримання нормативних мікрокліматичних умов в закладах, шляхом збору даних щодо параметрів будівлі, побудови базового рівня енергоспоживання та виявлення чинників, які найбільше впливають на нього.

Апробація результатів роботи відбулася на III науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 26-27 листопада 2020 р., ІЕЕ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ. Секція: «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією».

Публікації. Результати дисертації опубліковано в статті за темою: «Моніторинг енергоефективності навчальних закладів м. Києва» у збірнику III науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО МОНІТОРИНГУ ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІЇВ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

1.1 Необхідність моніторингу енергоефективності

На сьогоднішній день енергетичний чинник є одним з головних факторів, які мають вплив на стан економічної ситуації як в Україні загалом, так і в місті Києві. На даний час енергозберігаючі технології впроваджуються практично у всіх сферах життя. Але, якщо для промислових споживачів показовим ефектом від енергозбереження стає зниження енергоємності одиниці продукції, то в бюджетній сфері при стимулюванні економії енергоресурсів виникають складнощі.

В умовах постійного підвищення вартості основних видів енергоресурсів, особливо актуальними стають питання енергозбереження та підвищення енергоефективності в закладах та установах, що отримують фінансування з міського бюджету.

Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ і економія паливно-енергетичних ресурсів в закладах бюджетної сфери зростає пропорційно виділенню на ці цілі коштів [1].

Слід відмітити, що для більшості навчальних закладів, до основної діяльності яких відноситься забезпечення навчально-виховного процесу, енергоефективність – це не лише один з способів заощадити бюджетні ресурси

і кошти галузі, а й також спосіб покращити стан здоров'я своїх вихованців та учнів, що відповідним чином впливає на повноту та якість одержаної ними освіти.

Протягом останніх років спостерігається стійка тенденція до збільшення витрат з місцевого бюджету на оплату тепла об'єктами бюджетної сфери і саме тому виникла необхідність впровадження на цих об'єктах комплексної системи економії тепла [1].

Вирішення проблем енергозбереження вимагає дієвого управління на всіх рівнях господарювання: державному, регіональному, на рівні окремих закладів та їх частин. Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії.

Об'єктивне, обґрунтоване вирішення завдання кількісної оцінки, контролю та аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів для різних об'єктів є необхідною умовою досягнення помітних практичних результатів у сфері енергозбереження. Раціональне управління вимагає впровадження комплексної системи моніторингу показників.

В загальному випадку, моніторинг трактують як систему заходів спостереження та контролювання, що певним чином проводяться для оцінювання стану об'єкту дослідження, аналізу процесів, що відбуваються, та своєчасного виявлення тенденцій його зміни. Тобто, система моніторингу енергетичної ефективності повинна будуватись не лише як технічна система обліку та контролю енергоспоживання, але й як система, що забезпечує управлінський аспект процесу підвищення енергоефективності [2].

Крім того, одним із завдань, прописаних в «Дорожній карті» проекту реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року є створення системи збору, аналізу та використання даних про кінцеве споживання енергоресурсів для формування порівняльної бази щодо ефективності використання енергоресурсів співставної із міжнародною практикою. Це, в

свою чергу, вимагає поєднання процедур порівняльного аналізу з функціями енергетичного моніторингу.

При цьому під час розробки систем енергетичного моніторингу та методів реалізації його функцій важливим є врахування індивідуальних особливостей об'єкта дослідження (наприклад, площа закладу, розташування, призначення окремо взятих приміщень, кількість дітей, що його відвідують, тощо) [3, 4].

Невід'ємною частиною не лише питання енергозбереження, а й отримання необхідної інформації про об'єкт дослідження є енергоаудит, проведення якого (крім виявлення джерел нераціональних витрат енергоресурсів та розробки заходів з енергозбереження) допомагає визначити низку показників, які не фіксуються наявними на об'єкті приладами обліку енергоресурсів, але дають можливість охарактеризувати технічний стан об'єкту дослідження та ефективність його функціонування.

Основними задачами системи моніторингу енергоспоживання є [5, 6]:

- вчасне виявлення випадків перевитрат енергоресурсів, аварійних ситуацій та недотримання нормативних умов перебування відвідувачів та персоналу;
- збір даних про фактичне споживання енергоресурсів;
- збір даних про фактори, що впливають на рівень споживання енергоресурсів;
- збір даних про параметри мікроклімату в будівлях;
- аналіз ефективності використання енергоресурсів в порівнянні з аналогічними закладами та нормативними значеннями;
- контроль за ефективністю експлуатації будівель і інженерних систем;
- визначення фактичного рівня досягнутої економії в результаті впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання;
- формування переліку закладів/будівель, що потребують першочергового поглибленого аналізу та/або впровадження додаткових заходів з підвищення ефективності енергоспоживання;

- створення підґрунтя для впровадження стимулювання ощадного енергоспоживання шляхом впровадження об'єктивних показників ефективності енергоспоживання.

1.2 Типові заходи щодо економії енергоносіїв в бюджетних закладах

Система моніторингу дозволяє побачити які заходи з енергозбереження впроваджувати в першу чергу, а також відслідковувати та оцінювати ефект від їх реалізації. Залежно від мети та відстежуваних заходів обирається також метод вимірювання та верифікації.

До основних заходів з енергозбереження бюджетних установ належать:

1. Утеплення огорожуючих конструкцій.
2. Заміна застарілих, дерев'яних вікон та входних дверей на нові енергоефективні.
3. Реконструкція внутрішньої системи опалення з облаштуванням автоматичної системи управління споживанням теплової енергії.
4. Використання відновлюваних джерел енергії.
5. Відновлення нормованого рівня освітлення в учбових приміщеннях шляхом встановлення сучасних енергоефективних світильників.
6. Реконструкція системи припливно-витяжної вентиляції із застосуванням рекупераційних та теплонасосних систем.
7. Встановлення приладів комерційного обліку теплової енергії;
8. Встановлення індивідуальних модульних теплових пунктів - МІТП, оснащених системами автоматичного регулювання та насосним устаткуванням, що дозволяє підтримувати постійну температуру обігріву в приміщеннях при оптимальній витраті теплової енергії.
9. Заміна застарілих плит у харчоблоках на нові енергоефективні.
10. Впровадження системи комплексного моніторингу рівня ефективності енерговикористання.

11. Встановлення датчиків руху у коридорах та датчиків освітленості на вулиці.

1.3 Технічне забезпечення моніторингу

1.3.1 Рекомендації USAID

Для забезпечення ефективного моніторингу на всіх його рівнях повинні бути надані інструменти для виконавців.

На рівні будівель такими інструментами є форми реєстрації теплоспоживання та температури. При наявності обчислювальної техніки, ці форми мають заповнюватися в електронному вигляді, а за її відсутності – на папері. На рівні енергоменеджерів міста рекомендовано користуватися електронними таблицями Microsoft Excel. В перспективі рекомендовано запроваджувати автоматизовану систему АРМ (автоматизоване робоче місце) енергоменеджера. АРМ енергоменеджера є спеціалізованим програмним продуктом, що забезпечує аналіз ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у системі теплопостачання міста на всіх рівнях та є складовою частиною функціонування енергетичного менеджменту даної системи. АРМ енергоменеджера забезпечує аналіз енергоспоживання, на базі якого розроблюються та впроваджуються енергозберігаючі заходи. Ця система також дозволяє проводити моніторинг енергетичного та економічного ефекту цих заходів [7].

Основні функції АРМ енергоменеджера містять наступні елементи:

- 1) автоматичне формування та ведення бази даних споживання ресурсів і факторів, що впливають на нього;
- 2) автоматична побудова лінії регресійних залежностей між витратами ресурсів та факторами впливу;
- 3) моніторинг енергоспоживання споживачів ресурсів за будь-які інтервали часу, порівняння таких значень з базовим рівнем, що визначається за відповідними рівняннями регресії;

- 4) сповіщення про перевищення граничних рівнів енергоспоживання;
- 5) автоматична побудова енергобалансів;
- 6) автоматичне формування необхідної звітної документації:
 - а) відомості енергоспоживання об'єктів з акумуляцією економії та перевитрат ресурсів, економії та перевитрат грошових коштів на оплату ресурсів;
 - б) відомості преміювання за економію ресурсів;
 - в) інші документи.
- 7) експорт/імпорт даних з Microsoft Excel.

1.3.2 Огляд програмного забезпечення для енергомоніторингу

Зараз на ринку ІТ розробляються та застосовуються комп'ютерні програми для моніторингу та аналізу споживання енергетичних ресурсів. Від цих програм, окрім їх основного призначення, часто очікується допомога в управлінні енергією в містах, стратегічному плануванні, аналізу впливу впроваджених проектів з поліпшення ефективності енерговикористання, перевірки витрат на проекти та витрат за надані послуги, відстеження за кількістю викидів парникових газів, інше.

Асоціація «Енергоефективні міста України» (далі – АЕМУ), як незалежна організація що сприяє впровадженню системи енергетичного менеджменту (далі - СЕМ) у містах України визначила необхідність в регулярному узагальненні та поширенні інформації про існуюче програмне забезпечення для системи енергетичного моніторингу та менеджменту (далі ПЗ для СЕМ), їх функціональність, зручність, технічні можливості, вартість та опис від користувачів-практиків. Такі огляди сприятимуть кращій поінформованості міст про існуючі продукти, аспекти і особливості, за якими їх варто підбирати, а також поширенню ідеї енергомоніторингу та енергоменеджменту як елементу загальнодержавної політики у сфері енергоефективності [8].

Результати цього дослідження наведено на рисунках 1.1-1.4.

№	Критерії оцінювання	Енергоплан	UMUNI	EManagement24	Енергобаланс	*АІС "Енергосервіс: облік, контроль, економія"	Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ)
1	Наявність навчання для користувачів	Тренінги проводяться за вимогою замовника		За потреби та окремим замовленням (договором) для користувачів може надаватись навчання через skype та навчання з виїздом до замовника	Тренінги проводяться за вимогою замовника для користувачів всіх рівнів	Навчання користувачів проводиться в онлайн-режимі, можливість виїзду до користувача на безкоштовній основі	Конкретна інформація відсутня, є дані контактної особи, котра надає допомогу у користуванні програмою
2	Наявність інструкцій для користувачів, методичних рекомендацій	Наявний Посібник користувача з навігацією	Інструкція, що завантажується, відсутня; надається користувачам окремо	Наявна інструкція користувача		Наявність звукового файлу	Наявна інструкція користувача
3	Швидкість реакції на запит технічної підтримки	Щодо швидкості реакції на запит технічної підтримки у користувачів є різний досвід	Щодо швидкості реакції на запит технічної підтримки у користувачів є різний досвід	24x7x365 підтримка через сайт або електронну пошту та 8:00 – 20:00 за телефоном.	Щодо швидкості реакції на запит технічної підтримки у користувачів є різний досвід	Онлайн 24/7	Щодо швидкості реакції на запит технічної підтримки у користувачів є різний досвід
4	Наявність мобільної версії програми (доступ з смартфона)	Мобільна версія відсутня. Щоденні покази лічильників можливо вносити окремо через онлайн доступ до веб сторінки з мобільного пристрою	Оскільки програми працюють через браузер, то є змога використовувати її на мобільних пристроях. Проте можуть бути проблеми з відображенням інформації та звітів				
5	Можливість доступу для користувачів різних рівнів користування (або обмежений доступ)	Робота доступна відповідно до структури: організація – структурний підрозділ – установа – будівля (окрема зона, чи орендар). Кожному з елементів структури присвоюється (чи обмежується) можливий рівень доступу. Всі об'єкти моніторингу зручно організовані у вигляді дерева. Щоденні покази лічильників можливо вносити окремо через онлайн доступ до веб сторінки	Робота доступна відповідно до структури: організація – структурний підрозділ – установа – будівля (окрема зона, чи орендар). Кожному з елементів структури присвоюється (чи обмежується) можливий рівень доступу. Наявний надзвичайно гнучкий механізм розподілу ролей та рівнів доступу для різних типів користувачів	Робота доступна відповідно до структури: організація – структурний підрозділ – будівля. Кожному з елементів структури присвоюється (чи обмежується) можливий рівень доступу	Робота доступна відповідно до структури: організація – структурний підрозділ – установа – будівля (окрема зона, чи орендар). Кожному з елементів структури присвоюється (чи обмежується) можливий рівень доступу. Окремо є доступ для введення показів лічильників, адміністрування та внесення іншої додаткової інформації	Робота доступна відповідно до структури: організація – структурний підрозділ – установа – будівля (окрема зона, чи орендар)	

Рисунок 1.1 – Результати дослідження

№	Критерії оцінювання	Енергоплан	UMUNI	EManagement24	Енергобаланс	*AIC "Енергосервіс: облік, контроль, економія"	Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ)
6	Можливість автоматичного внесення показів лічильників в ПЗ (вказати спосіб передачі даних)	Ручний спосіб	Наявна	Ручний спосіб		Ручний та автоматизований спосіб введення даних (при наявності відповідних приладів обліку)	
7	Можливість автоматичного завантаження даних по середньодобовій температурі зовнішнього середовища з прив'язкою до міста чи району області	Програми автоматично завантажують метеорологічні дані та використовує ці дані в звітах.			Ручний спосіб	Програми автоматично завантажують метеорологічні дані та використовує ці дані в звітах	
8	Періодичність внесення даних	Програми дозволяють працювати з будь-якою періодичністю внесення даних.					
9	Можливість застосування ПЗ для: - будівлі бюджетного сектору, - Житловий сектор - Будівлі комерційні та орендні	Бюджетний сектор	ПЗ адаптоване до використання в бюджетній та комерційній сфері. Розробники стверджують, що є окремий модуль програми для роботи з житловим сектором, проте на тестування такий модуль не надавався	Бюджетний сектор		Бюджетний сектор, будівлі житлового фонду, можливість підключення системи вуличного освітлення	Бюджетний сектор, будівлі житлового фонду
10	Можливість внесення, зберігання основних технічних даних будинку та генерації технічного паспорта будівлі (статичні та динамічні складові)	Наявна можливість внесення та зберігання даних, можливість генерації паспорта встановленого візрця відсутня					
11	Можливість генерації сертифікату енергетичних характеристик будівлі на основі фактичного енергоспоживання	Відсутня	Наявна	Відсутня	Наявна	Наявна	Відсутня
12	Опція генерування розрахункової базової лінії	Присутня, за умови наявності даних за останні три роки	Є можливість розрахунку базового споживання без його порівняння з фактичним (в одному звіті). Є можливість порівняння лімітів з фактичним	Відсутня	Відсутня	Наявна	В стадії розробки

Рисунок 1.2 – Результати дослідження

№	Критерії оцінювання	Енергоплан	UMUNI	EManagement24	Енергобаланс	*АІС "Енергосервіс: облік, контроль, економія"	Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ)
13	Можливість доповнення стандартних форм звітів самостійно опрацьованим звітом	Відсутня. Є можливість налаштування звітів					
14	Готовність розробника вносити зміни у ПЗ відповідно до побажань клієнта	Відповідно до умов договору у кожному окремому випадку	За даними користувачів розробники охоче комунікують та приймають до уваги зауваження. Якщо зауваження суттєві – то у ПЗ вносять відповідні зміни	Відповідно до умов договору у кожному окремому випадку			
15	Захист від помилкових дій користувачів і введення некоректних даних	Наявний			Відсутній	Наявний	Частково наявне (лише для менших значень показів лічильника)
16	Ціна за 1 буд на рік (або інші варіанти)	24-9,6 грн за будівлю в місяць залежно від кількості	15 грн./будівля/місяць, або договірна	Користування ЕМенеджменту24 до кінця 2018 року є безоплатним. З 2019 року вартість користування становитиме 25 грн за 1 установу в місяць. Є можливість надання знижки для клієнтів, які мають більше 50 установ	Договірна	Присутність трьох пакетів: 1) базовий - безкоштовний; 2) розширений - від 3 грн/місяць; 3) індивідуальний - за вимогами користувача. Повний функціонал системи надається безкоштовно на 2 роки	Договірна
17	Місце збереження даних: - віддалений доступ (сервер постачальника) - власний сервер	Сервер постачальника, проте за даними розробників можливе встановлення власного серверу в окремих випадках					
18	Доступ до програми: - он-лайн - інсталяційна версія	Інсталяційна версія та онлайн внесення показів лічильників	Онлайн виключно				
19	Наявність автоматичного резервування (копії бази даних), як засіб безпеки	Наявне	Наявне	Наявне	Наявне	Наявне	Наявне
20	Можливість імпорту даних з інших ПП, чи MS Excel	Наявна	Наявна	Відсутня	Наявна	Наявна	Відсутня

Рисунок 1.3 – Результати дослідження

№	Критерії оцінювання	Енергоплан	UMUNI	EManagement24	Енергобаланс	*АІС "Енергосервіс: облік, контроль, економія"	Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ)
21	Можливість експорту даних до: MS Excel, pdf,- інші	Наявна					
22	Визначення ліміту та його розрахунок по кожному з ресурсів	Лише ручне внесення	Завантаження лімітів/ручне внесення	Лише ручне внесення		Автоматично	В процесі розробки
23	Налаштування системи контролю та оповіщення щодо відповідності споживання контрольним параметрам (базова норма споживання, ліміти, нормативне споживання, температур згідно санітарних норм)	Відсутня	Наявна	Відсутня		Наявна	Часково (наявне при роботі разом з телеметрією)
24	Розрахунок питомого споживання енергії	Наявний					
25	Розрахунок та визначення класу енергоефективності	Відсутнє	Наявний				
26	Визначення пріоритетності ресурсозберігаючих заходів у розрізі бюджетних або інших установ/галузей	Є змога вносити заходи без їх окремої пріоритизації	Є змога вносити заходи	Відсутнє		Наявне	Відсутнє
27	Розрахунок кадастру викидів парникових газів	Відсутній		Наявний			Відсутній
28	Формування звіту з експрес енергоаудиту	Відсутнє				Присутнє	Відсутній

Рисунок 1.4 – Результати дослідження

1.4 Метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб

Кількість теплоти, що споживається будівлями, визначається приладами обліку та витрачається на компенсацію тепловтрат через огорожувальні конструкції, та тепловтрат, спричинених інфільтрацією зовнішнього повітря через нещільності в цих конструкціях та через двері і вікна, що час від часу відчиняються.

Базовий рівень фіксує теплоспоживання до реалізації заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель. Різниця між базовим та фактичним теплоспоживанням показує економію теплової енергії за відповідний період, яка є базою для розрахунку суми заощаджених за рахунок заходів коштів.

Величина економії теплової енергії залежить від ефективності її використання та від кліматичних умов, які можуть значно впливати на показники економії: за умови більш «холодного» періоду економія буде зменшена, а за умови більш «теплого» періоду – збільшена. Щоб оцінити реальну енергоефективність запропонованих заходів і стан обладнання, необхідно приводити показники теплоспоживання до порівняних умов. Такою характеристикою клімату за порівняльний період є градусодоба [9].

Градусодоба – це різниця між нормативною температурою всередині приміщення та середньодобовою температурою зовнішнього повітря за той самий період часу. Для оцінки впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності можна застосовувати метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб.

Для кожного об'єкту базовий рівень теплоспоживання встановлюється індивідуально. Річний базовий рівень теплоспоживання для об'єкту визначається за формулою:

$$Q_o^{рік} = Q_o \frac{t_{вн} - t_{сер.о}}{t_{вн} - t_{р.о}} n_o \cdot 24 ,$$

де Q_o – споживання теплоти на опалення (Гкал/год) визначається відповідно до технічних умов, наданих теплопостачальною організацією на встановлення засобу обліку споживання теплової енергії;

$t_{вн}$ – нормативна усереднена температура внутрішнього повітря у приміщеннях будівлі приймається згідно з нормами проектування відповідних будівель і споруд залежно від призначення (житлові, громадські та адміністративні – 20 °С; лікувальні та дитячі навчальні – 21 °С, дошкільні заклади – 22 °С), °С;

$t_{сер.о.}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, для міста приймається згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

$t_{р.о.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, для міста приймається згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

n_o – тривалість опалювального періоду за кількістю днів з постійною середньодобовою температурою зовнішнього повітря 8 °С і нижче, для міста приймається відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.

Помісячний базовий рівень теплоспоживання визначається за формулою:

$$Q_o^{міс} = Q_o^{рік} \cdot \% Q_o^{міс} ,$$

де $\% Q_o^{міс} = \frac{ГД_{міс}^{норм}}{ГД_{рік}^{норм}}, \%$ а розрахунок градусодіб окремого місяця відбувається

за формулою:

$$ГД = (t_{вн} - t_{зовн}) \cdot K_{діб} ,$$

де $t_{вн}$ – температура внутрішнього повітря будинків і споруд;

$t_{зовн}^{норм}$ – температура зовнішнього повітря середня для місяця;

$t_{зовн}$ – температура зовнішнього повітря середня для місяця, визначається за даними метеорологічної служби, °С (необхідні дані можна отримати, наприклад, на сайті <http://rp5.ua/>);

$K_{дiб}$ – кількість діб опалювального періоду в місяці.

Отримання та обробка інформації [2]:

1. Отримання інформації щодо теплоспоживання об'єкта відбувається шляхом зняття даних з вузла обліку теплової енергії (теплोलічильника). Для оперативного моніторингу зняття показників може відбуватись щодобово або потижнево:

- візуально з інформаційного табло лічильника;
- за допомогою приєднаного зчитувального пристрою;
- за допомогою модемного з'єднання (інструкції з експлуатації для теплотлічильників).

2. Інформацію щодо середньодобової та середньомісячної температури зовнішнього повітря можна отримувати такими способами:

- з інформаційних довідок метеорологічної служби;
- вимірювану встановленим датчиком температури на північному боці будівлі та на висоті 2 метрів.

Оперативний моніторинг – комплекс заходів, спрямований на отримання, створення бази даних з теплоспоживання об'єкта та їх обробку, для виявлення випадків відхилення споживання. Проведення оперативного моніторингу дає змогу уникнути перевитрат теплової енергії, пов'язаних з аваріями або неправильним налаштуванням теплорегулюючого обладнання, та має бути обов'язковою складовою системи енергетичного менеджменту.

Найбільш ефективною методикою аналізу енергоспоживання на сьогоднішній день є метод Контролю й Нормалізації енергоспоживання (КіН). В

основі методики КіН лежить аналіз регресійної залежності попарних значень двох вибірок даних, одна з яких – значення витрат енергії, друга вибірка – значення фактора, від якого залежить витрата енергії. Як правило, об'єктивним фактором, від якого залежить витрата енергії теплопостачальною організацією, є кількість градусодіб.

Застосування регресійного аналізу дає змогу одержати співвідношення між величиною витрати ПЕР і її змінною величиною – кількістю градусодіб. Найбільш проста й досить достовірна модель для даного випадку – лінійна модель залежності витрати ПЕР від кількості градусодіб виду [2]:

$$Y = a \cdot x + b,$$

де Y – витрата енергоресурсу;

x – кількість градусодіб;

a – коефіцієнт залежності, що означає змінну складову витрати енергоресурсу, що залежить від кількості градусодіб;

b – коефіцієнт залежності, що означає постійну складову витрати енергоресурсу, що не залежить від кількості градусодіб.

Математичною базою лінійного регресійного аналізу є метод найменших квадратів. Якісно-кількісну оцінку тісноти зв'язку між функцією (витрата ресурсів) та аргументом (кількість градусодіб) характеризує величина коефіцієнта кореляції R^2 . У практиці застосування методики КіН використовують квадрат коефіцієнта кореляції – коефіцієнт детермінації R^2 .

Регресійний аналіз необхідно використовувати як інструмент на певних інтервалах роботи, коли система працює вже певний період часу. Адже з погляду математики коефіцієнт детермінації говорить усього лише про якість даних. На одному рівні коефіцієнт детермінації свідчить про наявність або відсутність зв'язку між факторами, на більш високому рівні – вказує на загальний стандарт

системи контролю і на потенційні можливості енергозбереження шляхом поліпшення контролю. Таким чином, коефіцієнт детермінації являє собою вимір якості зв'язку між енергією та обраною змінною величиною. Тому він допомагає визначити:

- чи дійсно існує взаємозв'язок між базовою енергією й змінним фактором;
- як добре контролюється витрата енергії.

Обчислення коефіцієнтів b і a рівнянь регресії, а також значення коефіцієнта детермінації R^2 , зазвичай, проходить автоматично, використовуючи MS Excel або спеціалізоване програмне забезпечення.

Таким чином, застосування методу регресійного аналізу дозволяє одержати співвідношення між енергією та її змінною величиною й визначати передісторію споживання енергії в умовах «постійних» і «змінних» навантажень.

Основним показником ефективності впровадження заходів з енергозбереження є величина економії енергоресурсів в Гкал та грн, яка розраховується за формулою:

$$E = Q^{баз} - Q_{прив}^{факт} ,$$

$$\text{де } Q_{прив}^{факт} = Q_o^{факт} \cdot \frac{ГД^{норм}}{ГД^{факт}} ;$$

Q_o – фактичне теплоспоживання опалювального періоду, Гкал;

$ГД^{норм}$ – кількість градусодіб нормативного року відповідно;

$ГД^{факт}$ – кількість градусодіб, розрахованих за фактичною температурою зовнішнього повітря за відповідний період (доба, неділя, місяць).

Фінансова економія від впроваджених заходів розраховується шляхом множення економії теплової енергії в Гкал на відповідний тариф.

1.5 Огляд ISO 50015:2014, IDT Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова.

1.5.1 Сфера застосування

Метою цього стандарту є визначення загального набору вимог і керівних вказівок, які мають використовуватись для вимірювання та верифікації (ВВ) рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності та підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергетичної ефективності організації. ВВ додає цінності, збільшуючи довіру до рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності та результатів підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності. Достовірні результати можуть сприяти досягненню підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності [10].

Стандарт можна використовувати незалежно від типу енергоресурсу.

Вказаний стандарт не визначає точні методи розрахунку, натомість, він описує загальну концепцію вимірювання і верифікації, а також того, яким чином вимірювання і верифікацію можна застосовувати до різноманітних методів розрахунку.

Наведеними принципами і керівними вказівками можна заручитися незалежно від обраного методу вимірювання і верифікації.

В ньому детально покроково розписані етапи реалізації концепції вимірювання і верифікації (складання плану, збір даних, встановлення базової лінії, аналіз результатів, оформлення звітності та потрібної документації).

На цей стандарт можна спиратися при побудові системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів.

Послідовність рекомендованих дій можна зобразити за допомогою блок-схеми представленої на рисунку 1.5.

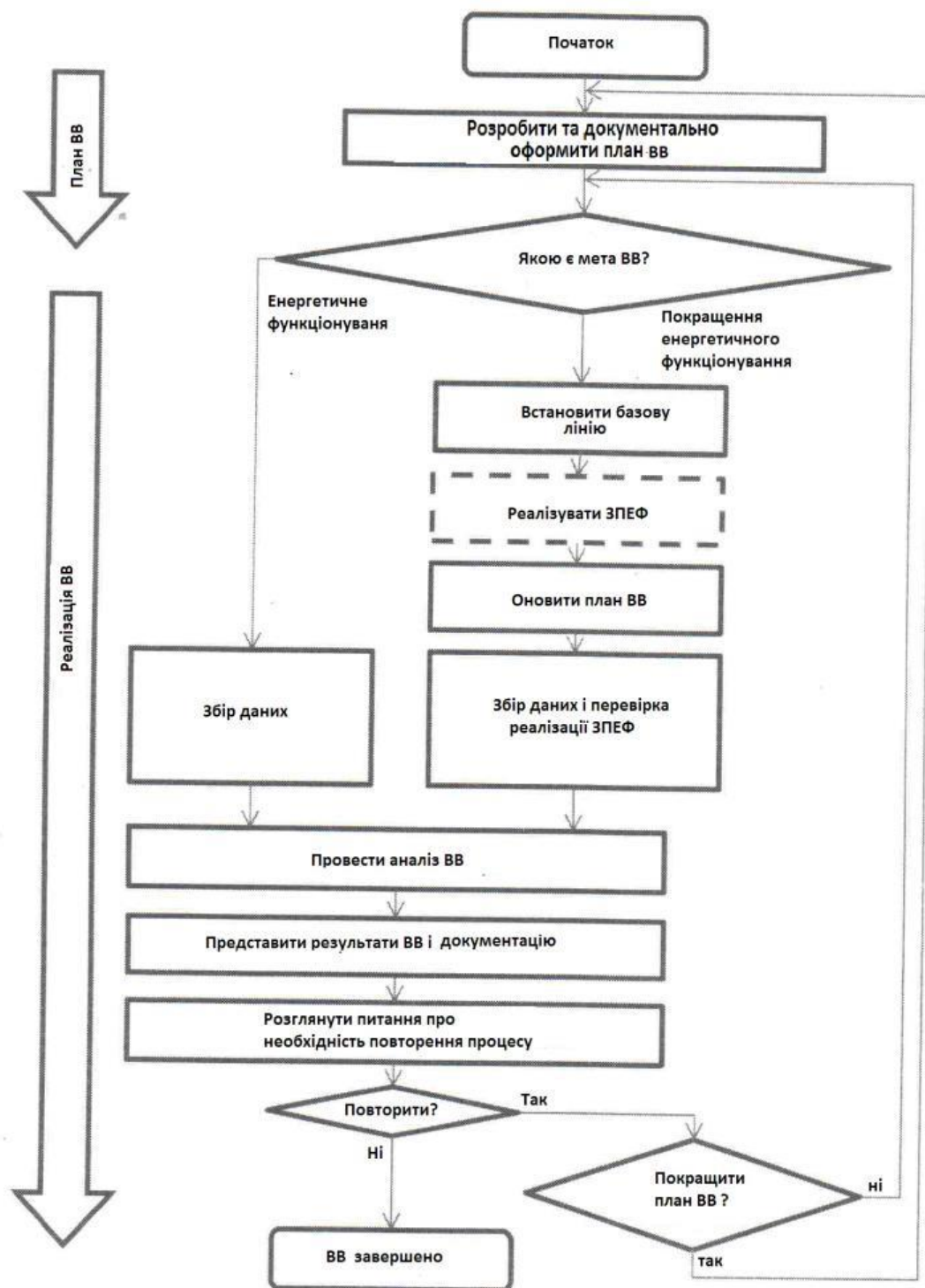


Рисунок 1.5 – Блок-схема вимірювань і верифікації [10]

1.5.2 План вимірювань та верифікації

Цілі і завдання плану ВВ мають описувати [10]:

- організацію, для якої проводиться ВВ;
- причини проведення ВВ;

- сторони, відповідальні за проведення ВВ, їх ролі та відношення до організації, відповідність принципу неупередженості;
- вимоги конфіденційності;
- сторони, які отримують результати;
- будь-які виявлені законодавчі або інші вимоги, у тому числі, додаткові стандарти, яким має відповідати процес ВВ;
- короткий опис фізичної сфери застосування (обсягу) ВВ, у тому числі, якщо відповідні ВВ застосовуються до всієї організації або її частини: якщо вони стосуються частини організації, то у сфері застосування слід зазначити, до якої саме частини організації вони належать;
- що саме вимірюється і перевіряється, у тому числі, вихідні показники (метрики) енергетичної ефективності, ПЕЕ або ЗПЕ;
- потенційні непрямі впливи;
- метод ВВ, що застосовується;
- короткий огляд даних, які будуть зібрані та проаналізовані, у тому числі тип даних і частота їх збирання;
- застосовну точність або вимоги до невизначеності, яких слід дотримуватися;
- частоту представлення (напр., щомісячні, щоквартальні, щорічні) і формат звітів щодо ВВ;
- процес (якщо такий є) оновлення плану ВВ;
- підтвердження того, що сфера охоплення ВВ є у межах можливостей фахівця з питань ВВ, відповідно до принципу компетентності фахівця з ВВ.

У плані ВВ слід описати різні ЗПЕ, якщо такі є, які впливають на визначену сферу охоплення і часові межі ВВ і, отже, які повинні бути виміряні і перевірені. Слід вказати [10]:

- опис кожного ЗПЕ, у тому числі, базового(их) рівня(ів) енергоспоживання для ВВ;

- як і чому очікується, що реалізація ЗПЕ сприятиме підтримці або підвищенню рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності;
- очікуване підвищення або підтримка відповідного рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності в результаті реалізації ЗПЕ;
- призначення відповідальних за реалізацію ЗПЕ;
- яким чином будуть реалізовані ЗПЕ;
- часові межі та послідовність виконання кожного ЗПЕ;
- місце, де будуть реалізовуватися ЗПЕ;
- вартість реалізації ЗПЕ, якщо це відповідає цілям ВВ;
- яким чином реалізація ЗПЕ буде фізично перевірена;
- опис непрямого впливу;
- ідентифікація того, які з непрямих впливів будуть або не будуть кількісно виражені у ВВ;
- опис потенційного значення некласифікованих непрямих впливів.

У плані ВВ слід чітко описати і задокументувати межі ВВ, у тому числі, відповідні системи, процеси або обладнання. Фахівець з питань ВВ має зробити офіційний звіт з викладом причин вибору меж ВВ та впливу цього рішення на невизначеність. Системи, процеси або обладнання, чия енергетична ефективність не впливає на ЗПЕ і не піддається впливу з боку ЗПЕ, можна видалити з меж ВВ з метою спрощення процесу ВВ. Тим не менш, необхідно врахувати непрямі ефекти при визначенні того, на які саме елементи не впливають ЗПЕ або рівень досягнутої (досяжної) енергоефективності [10].

Рівень досягнутої (досяжної) енергоефективності організації вимірюється за допомогою показників (метрики) рівня досягнутої (досяжної) енергетичної ефективності. Характеристика кожного показника енергетичної ефективності або ПЕЕ має включати в себе визначення, опис і одиниці виміру. Характеристика показників енергетичної ефективності на основі співвідношень або складніших моделей повинна включати

математичне рівняння або конкретні кроки для встановлення показника енергетичної ефективності. Оскільки ПЕЕ може бути недостатньо для цілей ВВ, практику з питань ВВ, можливо, слід визначити додаткові показники енергетичної ефективності. Фахівець з питань ВВ задокументує причину для додаткових показників енергетичної ефективності.

Для характеристики і вибору відповідних змінних і постійних коефіцієнтів (факторів) необхідно зробити наступні кроки [10]:

- встановити критерії для вибору відповідних змінних або статичних коефіцієнтів, що впливають на рівень досягнутої (досяжної) енергоефективності в межах ВВ;
- визначити відповідні змінні, а також постійні коефіцієнти;
- встановити типовий робочий діапазон виявлених відповідних змінних і постійних коефіцієнтів;
- визначити репрезентативний період часу;
- ідентифікувати і уточнити характеристики даних і джерело(а) даних для кожної відповідного змінного та постійного коефіцієнта у відповідності з керівними принципами (настановами) щодо плану збирання даних;
- виявити і описати непрямі впливи, які можуть виникнути;
- визначити, які саме непрямі впливи будуть чи не будуть кількісно виражені у ВВ;
- описати потенційне застосування кількісно невиражених непрямих впливів та
- скласти список змінних та постійних коефіцієнтів, розглянутих та визначених як невідповідні, разом із причинами їх неврахування.

Фахівець з питань ВВ має вибрати відповідний метод ВВ. Цей вибір, як правило, ґрунтується на декількох факторах, у тому числі [10]:

- мета ВВ;
- вимоги до точності;

- відповідний досвід фахівця з питань ВВ;
- характер ЗПЕ або показників енергетичної ефективності, які необхідно виміряти і перевірити;
- характер і розмір організації, а також вибір меж ВВ;
- інформація, отримана в ході попередньої оцінки плану ВВ;
- законодавчі, нормативні або інші вимоги, у тому числі інші стандарти та протоколи;
- вартість розглянутих методів.
- Незалежно від вибору, зробленого фахівцем з питань ВВ, цей розділ плану ВВ повинен містити:
- поетапний опис методу ВВ і методу розрахунку, а також посилання на будь-які обрані протоколи;
- опис, який є достатньо докладним для того, щоб гарантувати, що практики з питань ВВ інших складових зможуть здійснити процес ВВ;
- обґрунтування вибору методу ВВ і методу розрахунку, у тому числі, переваг і недоліків.

Окрема увага приділяється збиранню даних. Для кожного елемента потрібних даних, слід описати наступне [10]:

- назву змінної;
- джерело даних – існуюче або нове (опис, як правило, включає в себе тип джерела даних (тобто інструкцію з експлуатації, прилад тощо), серійні номери приладів (за наявності), список точок вимірювання, фактичне місцезнаходження вимірювання та процес вимірювання або метод вимірювання);
- якість даних (якість даних може включати в себе доречність, достовірність, перевірку, надійність, повноту і т.д. даних, отриманих із джерела даних);
- виявлення та розміщення значення(нь), що різко відрізняється(ються) від інших, або прогалин у даних з їх

обґрунтуванням;

- частоту, з якою збираються дані (тобто щогодини, щодня, щомісяця і т.д., частота збирання даних повинна бути достатньою, щоб охопити діапазон режимів експлуатації);
- тип вимірювання (інтегроване вимірювання (напр., середнє значення протягом певного періоду часу) або точкове (миттєве) вимірювання);
- метод збору;
- особу (осіб), відповідальну(их) за проведення вимірювань, наприклад, організацію, фахівця з питань ВВ або підрядників;
- підготовку, а також доступ до точок вимірювання;
- операційні обмеження та обмеження при реалізації (встановлення деяких приладів може вимагати припинення роботи установок);
- тип лічильника або датчика, які будуть використовуватися.

При виборі лічильника або датчика слід враховувати діапазон вимірювань, правильність, точність, можливість, умови використання та цілі ВВ.

У випадках, коли реєструється підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності, необхідно встановити базовий рівень енергоспоживання. У таких випадках може бути відмінність між планом збирання даних протягом періоду дії базової лінії та планом збирання даних протягом звітного періоду, і в такому випадку слід документально оформити два окремих плани збирання даних (по одному для кожного з цих періодів). Опис плану збирання даних повинен бути достатньо широким (всебічним), щоб процес отримання даних міг бути і повторюваним, і відтворюваним [10].

У випадках, коли реєструється підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності, необхідно встановити базовий рівень енергоспоживання. У таких випадках може бути відмінність між планом

збирання даних протягом періоду дії базової лінії та планом збирання даних протягом звітного періоду, і в такому випадку слід документально оформити два окремих плани збирання даних (по одному для кожного з цих періодів). Опис плану збирання даних повинен бути достатньо широким (всебічним), щоб процес отримання даних міг бути і повторюваним, і відтворюваним.

Вибраний метод ВВ і метод розрахунків можуть вимагати адаптації базового рівня енергоспоживання до умов звітного періоду. У плані повинні бути описані умови, за яких потрібно проводити коригування, а також окреслено методи, що використовуються для цих коригувань.

Для проведення зазначеної вище діяльності необхідні ресурси. Ресурси мають включати в себе: бюджет, вимірювання та інше обладнання, доступ до точок вимірювань, людські ресурси, у т.ч., вимоги до рівня кваліфікації та компетентності, доступ до даних і записів документальних підтверджень тощо.

Ролі та обов'язки сторін, що беруть участь у ВВ, повинні бути задокументовані разом із [10]:

- методами комунікації між різними сторонами;
- змінами у складі ключових фахівців та їх контактних даних, а також того, як ця інформація буде оновлюватися в плані;
- визначенням компетенцій, відповідно до принципу компетенції фахівця з питань ВВ.

Слід вносити і підтримувати записи у плані ВВ для забезпечення легкого пошуку і доступу до інформації. Тут повинні бути відповідні записи, що обґрунтовують причини прийняття рішень, з метою встановлення детального аудиторського звіту. Це може включати в себе електронну переписку між відповідними сторонами.

1.5.3 Реалізація плану вимірювання і верифікації

Фахівець з питань ВВ повинен збирати і фіксувати дані відповідно до

вимог плану збирання даних, перевірити, чи були належним чином, відповідно до плану, реалізовані ЗПЕ. Вказати які з заходів були реалізовані, а які – ні та з якої причини. Якщо реалізація ЗПЕ відрізняється від їх опису у плані ВВ таким чином, що вимагає коригування плану ВВ, то таке коригування необхідно зробити, задокументувати і включити у періодичний звіт про ВВ. Елементи плану ВВ, які можуть вимагати коригування, включають у себе (серед іншого) метод, вибір меж ВВ, відповідні змінні і постійні коефіцієнти [10].

Фахівець з питань ВВ несе відповідальність за те, що представлені результати ВВ відповідають вимогам і завданням плану ВВ. Ситуації, що вимагають нестандартних коригувань, повинні бути відмічені і задокументовані практиком або організацією, що проводить ВВ, що призводить до необхідності коригування плану. Такі ситуації можуть включати зміни у сфері застосування, зміни в реалізації, виконанні або у складових ЗПЕ, а також зміни, які є внутрішніми чи зовнішніми по відношенню до меж ВВ.

Під час аналізування ВВ слід дотримуватися сфери охоплення, часових меж, періодичності даних і методу, зазначеного в плані ВВ.

Якщо мета ВВ включає в себе визначення підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергетичної ефективності, то фахівцю з питань ВВ слід розрахувати базовий рівень енергоспоживання відповідно до плану ВВ. Необхідно зафіксувати будь-які нестандартні (нерегулярні) коригування або зміни у методах, що використовуються. Після виконання цього кроку отримуємо виміряні і перевірені результати підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергетичної ефективності. Ці результати слід представити відповідно до вимог плану ВВ [10].

Якщо два або більше ЗПЕ реалізовані протягом того самого часу або частково співпадаючих періодів часу, результат ВВ від їх спільного впливу може відрізнятися від суми результатів, отриманих від кожного ЗПЕ окремо. Аналіз ВВ має гарантувати, що результат ВВ, визначений для

поєднання ЗПЕ, належним чином враховує будь-яку таку різницю.

Наприклад, реалізовано два ЗПЕ: підвищення ККД опалювальних котлів та поліпшення теплоізоляції будівлі. Економію лише від підвищення ККД опалювальних котлів можна визначити на основі змін ефективності на початковому рівні ізоляції. Економію лише від поліпшення ізоляції можна визначити на основі різниці ізолюючого матеріалу на початковому рівні ефективності. Комбінований ефект визначається на підставі різниці між початковим станом та споживанням як на рівні підвищення ККД, так і на рівні поліпшення ізоляції [10].

ВВ повинні бути задокументовані і представлені у звітах з періодом часу, встановленим у плані ВВ. Звіти можуть бути у вигляді одного річного звіту, поточних квартальних звітів, щомісячних звітів тощо.

Звіти повинні містити короткий виклад сфери охоплення і мети проведення ВВ. У звіті слід вказати відповідальну особу, яка виконує ВВ, та її приналежність (відношення) до організації.

Зазвичай звіти ВВ мають містити [10]:

- список реалізованих ЗПЕ;
- перелік ЗПЕ, що планувалися до реалізації, але які не були реалізовані, із зазначенням, чому саме вони не були реалізовані;
- докладний опис, якщо реалізація ЗПЕ відрізнялася від початкових планів;
- визначення змін, які відбулися, і того, чи вимагає така зміна внесення нестандартних коректив;

Представлення результатів енергетичної ефективності або підвищення рівня досягнутої (досяжної) енергоефективності відповідно до вимог плану ВВ, а також законодавчих, нормативних або інших вимог, які можуть бути застосовні.

Фахівець з питань ВВ повинен повідомити про будь-які проблеми, що виникли, і про те, як вони були вирішені у рамках процесу ВВ. Ці проблеми можуть включати в себе [10]:

- якість даних або доступність даних, яка не відповідає вимогам плану ВВ;
- зміни в умовах експлуатації.

Фахівець з питань ВВ повинен розглянути питання про необхідність повторення всього або частини процесу ВВ, виходячи з будь-якого з декількох факторів, таких як [10]:

- частота, визначена в плані ВВ;
- досягнуті результати;
- можливості або ЗПЕ, які мають бути реалізовані;
- інші вимоги, визначені у плані ВВ; або
- впливи питань чи проблем, що виникали.

Для того, аби забезпечити впевненість у результатах, звіти повинні включати чітке формулювання точності або невизначеності вимірювань. Розуміння невизначеності необхідно для того, щоб інтерпретувати і ефективно передавати результати ВВ, а також забезпечити достовірність представлених результатів ВВ. Якщо це можливо, слід визначити джерела невизначеності та кількісно представити їх, наскільки це практично і корисно для цілей ВВ.

Існує компроміс між рівнем невизначеності і вартістю ВВ. Повне кількісне вираження невизначеності може і не знадобитися, якщо це занадто дорого по відношенню до цілей ВВ. Там, де строга, методологічна і статистично значуща оцінка невизначеності не є можливою, необхідно визначити потенційні фактори, що впливають на невизначеність, з реальними оцінками величини невизначеності кожного компонента.

Джерела невизначеності, які слід приймати до уваги, можуть включати (серед іншого) наступні [10]:

- обраний метод ВВ;
- обраний метод розрахунків;
- обрані межі ВВ;
- відбір/вибір значного використання енергії у цих межах;

- види енергії, що не враховуються;
- частота збирання даних;
- інтервали даних;
- метод вимірювання, що застосовується;
- діагностика і похибка вимірювання моделі споживання енергії;
- компетентність фахівця з питань ВВ;
- розмір вибірки, і чи можна цей розмір вибірки вважати репрезентативним;
- похибка вимірювального обладнання;
- можливі непрямі впливи, не включені у результати ВВ.

Висновки до розділу 1

Сучасна система моніторингу дозволяє виявляти неефективне енергоспоживання, прогнозувати витрати на енергоносії, планувати впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання, збирати та накопичувати бази даних щодо енергоспоживання по закладах, вести бази характеристик будівель, що впливають на енергоспоживання, визначати фактичну економію енергоресурсів після впровадження заходів, стимулювати персонал до ощадного енергоспоживання, допомагати енергоменеджерам у прийнятті рішень щодо підвищення ефективності енергоспоживання, інтегруватися з іншими системами, зокрема з системами розрахунків за енергоносії, системами енергопостачальних організацій. Впровадження такої системи потребує відповідного технічного забезпечення, на сьогодні існує розроблене програмне забезпечення від різних виробників, кожне з яких має свої переваги та обирається виходячи з цілей моніторингу. Одним з методів, що використовується в такому програмному забезпеченні є метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб, який дозволяє врахувати вплив кліматичних умов на оцінку ефективності теплоспоживання та фактичну економію від

впроваджених заходів.

В розділі розглянуто стандарт ISO 50015:2014, IDT Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова. Зазначений стандарт являє собою рекомендації щодо впровадження системи вимірювання і верифікації рівня енергоефективності. В ньому докладно покроково розписані етапи реалізації концепції вимірювання і верифікації. На цей стандарт можна спиратися при побудові системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів.

2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТИПОВОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

2.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження

Енергоаудитором визначені наступні цілі виконання робіт з енергетичного аудиту будівлі [11]:

- покращення внутрішнього мікроклімату;
- зменшення витрат на енергію;
- зниження забруднення навколишнього середовища;
- забезпечення більш ефективного управління і обслуговування будівлі і технічного обладнання.

Процес розвитку включає оцінку та впровадження рентабельних енергоефективних (ЕЕ) заходів в будівлі.

Проект з підвищення енергоефективності має на меті три головні цілі:

- виявлення потенціалу підвищення енергоефективності;
- реалізація виявленого потенціалу підвищення енергоефективності;
- досягнення розрахункового рівня економії енергії і постійне підтримання енергоспоживання на належному рівні.

Проект повинен розглядатись з урахуванням специфічних індивідуальних можливостей визначення потенціалу підвищення енергоефективності даної будівлі. Також, необхідно врахувати плани власника будівлі по реновації і вимоги щодо прибутковості заходів (максимального строку окупності). Проект повинен розроблятись поетапно.

Отже, загальний процес розвитку проекту можна розділити на шість основних етапів, як показано на наступній діаграмі (рисунок 2.1).

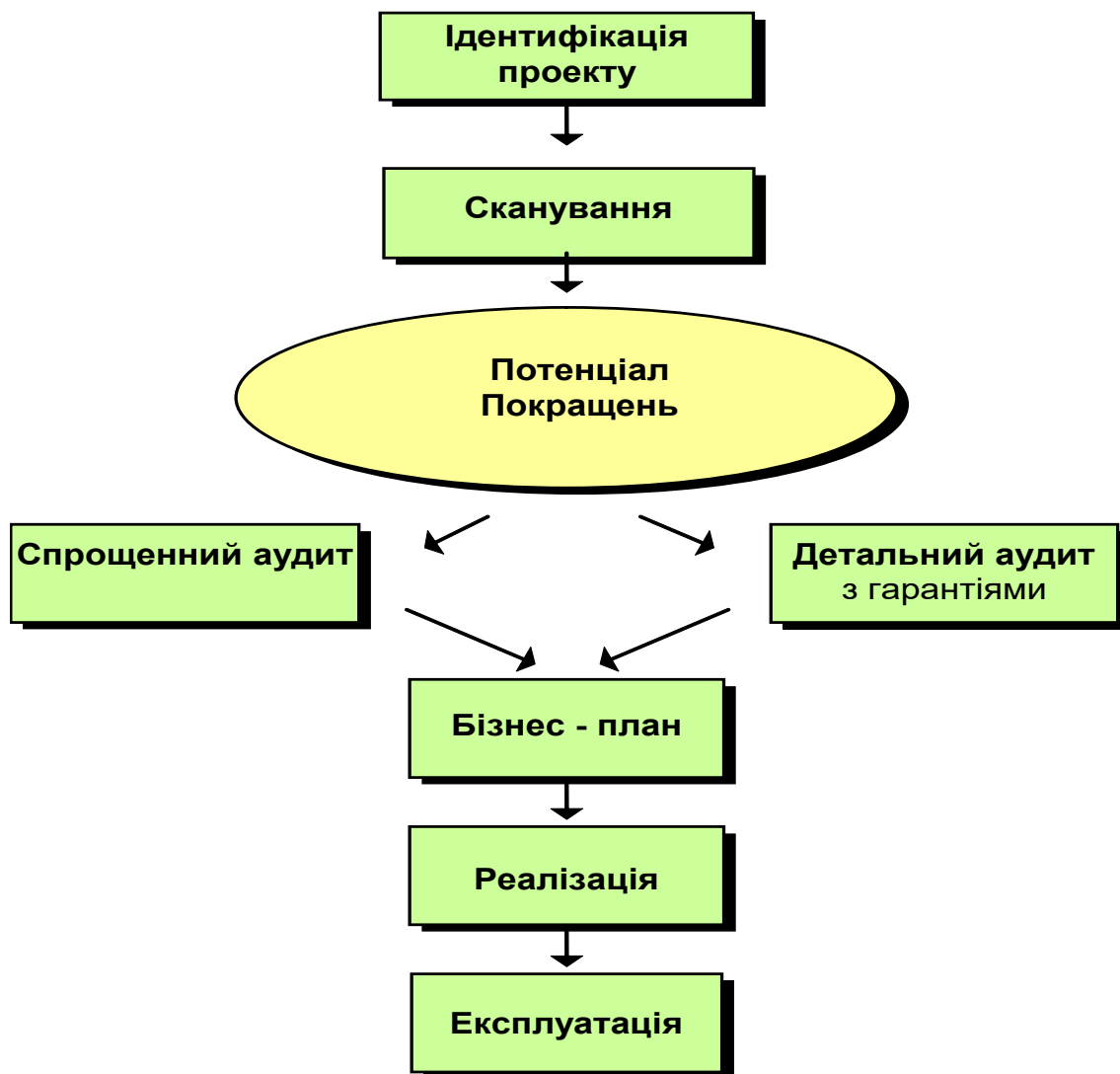


Рисунок 2.1 – Етапи розвитку Проекту [12]

Наступні Стандарти та Правила є доречними для енергоефективних заходів та заходів по реновації [13]:

- ДСТУ 4065-2001 «Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги (ANSI/IEEE 739-1995,NEQ)»;
- ДСТУ 4472-2005. «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги»;

- «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні». КТМ 204 Україна 244–94. – К.:ЗАТ „ВПОЛ”. - 2001. – 376 с;
- ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»;
- СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;
- ДБН В 2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель»;
- ДСТУ Б В.2.6-36:2008. «Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови»;
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація»;
- СНиП 3.05.01-85 (1988, с изм. 1 2000) «Внутренние санитарно-технические системы»;
- СНиП 3.05.07-85 (с изм. 1 1990) «Системы автоматизации»;
- СП-41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов»;
- ДБН В.2.5-39:2008. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі»;
- ДБН В.2.2-3-97 «Будинки і споруди навчальних закладів»;
- ДБН В.2-2-4-97 «Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів»;
- ДСТУ-Н Б EN 15603:2012 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT);
- Наказ Національного Агентства Екологічних Інвестицій від 12.05.2011 № 75 «Про затвердження показників питомих викидів двоокису вуглецю у 2011р.»

Наслідком цих стандартів та правил є наступні вимоги [10]:

- Внутрішня температура в приміщеннях в залежності від призначення:
- для навчальних закладів $t_{en}=21\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для дошкільних навчальних закладів $t_{en}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Мінімальний опір теплопередачі зовнішніх стін $R_{q\ min} \geq 3,3\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.

- Мінімальний опір теплопередачі вікон $R_{q\ min} \geq 0,75\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.
- Мінімальний опір теплопередачі входних дверей $R_{q\ min} \geq 0,60\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.
- Мінімальний опір теплопередачі перекриття над проїздами та неопалюваним підвалом $R_{q\ min} \geq 3,75\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.
- Мінімальний опір теплопередачі горища $R_{q\ min} \geq 4,95\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.
- Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Δt_{cz} , стіни - $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, горище – $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, підлога – $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Нормативні максимальні тепловитрати будівлі (1 температурна зона):
- $E_{max}=31\text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$ - для навчальних закладів;
- $E_{max}=36\text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$ - для дошкільних навчальних закладів.
- Забезпечення повітрообміну приміщень.
- Забезпечення місцевого регулювання теплового потоку для забезпечення комфортних умов.
- Забезпечення належного рівня освітленості.
- Теплоізоляція трубопроводів, кранів, арматури.

Середня загальноосвітня школа №229 м. Києва належить до типових закладів освіти, побудованих за проектом ШЗ (проект 222-1-322/79). Рік побудови – 1981 (рисунок 2.2).

Зовнішні стіни будівлі виконані з керамзитобетону товщиною 400 мм. Теплова ізоляція зовнішніх стін відсутня.

Вікна в будівлі дерев'яні з подвійним склінням у дерев'яних спарених рамах, в яких спостерігаються незначні нещільності між рамою та склом.

Вхідні двері центрального входу дерев'яні, наявний тамбур вхідної групи.

Дах плоский, частково невентильований знаходиться безпосередньо над будівлею, більшою частиною вентильований знаходиться безпосередньо над технічним приміщенням.

Перекрыття даху виконано з залізобетонної багатопустотної панелі товщиною 0,22 м, яка утеплена шаром керамзиту та вкрита цементно-піщаною стяжкою, шаром руберойду та бітуму.

Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал.

Розрахунок за спожиті енергоресурси здійснюються за показами існуючих вузлів обліку тепло- та електроенергії, холодної води.



На харчоблоку запроектована припливно-витяжна вентиляція з механічним та природним побудженням. Припливно-витяжні системи вентиляції знаходяться в не робочому стані.

Вентиляція приміщень відбувається природнім способом.

Система освітлення будівлі переважно складається з ламп розжарювання та люмінісцентних ламп.

Основну інформацію про будівлю зведемо до таблиць 2.1-2.2.

Таблиця 2.1 – Основна інформація

Назва проекту/будівлі/об'єкту	Середня загальноосвітня школа №229		
Тип будівлі	Навчальний заклад		
Рік зведення	1981	В постійній роботі з (рік)	1981
 			
Існуючі умови внутрішнього середовища		незадовільні	
Середня внутр. Температура	Факт	Виміряно при зовн. Температурі	Норматив
Температура. внутр. повітря, °С	18	-	21
Графіки	Робочі дні	Субота	Неділя
Графік присутності, год/день	10	0	0
Графік опалення, год/день	14	0	6
Кількість присутніх			
Чисельність дітей	668	осіб	
Загальна чисельність постійно присутніх	745	осіб	

Таблиця 2.2 – Геометричні дані будівлі

Загальна площа підлоги, м ²	13963,9	Кондиційована площа, м ²	6 987
Загальний об'єм, м ³	35 588	Кондиційований об'єм, м ³	20 820
Площа (проектна) підлоги, м ²	3 234	Кількість поверхів	3
Периметр підлоги, м	530	Чиста висота приміщення, м	3,0



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд СЗШ 229

2.2 Дослідження огорожувальних конструкцій

Термічний опір огорожувальної конструкції розраховується за наступною формулою (2.1) [14, 15]:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2.1)$$

де λ_i - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару конструкції, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$;

δ - товщина відповідного шару, м;

$\alpha_{вн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря, $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

α_3 - коефіцієнт тепловіддачі від конструкції, $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k_o = \frac{1}{R_o} \quad (2.2)$$

Зовнішні стіни

Розрахунок зведемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зовнішні стіни

Загальна оцінка існуючого стану (поганий, задовільний, добрий)				задовільний	
Загальна площа, м ²		4 007	Коефіцієнт теплопередачі k (середній), Вт/м ² К		0,97
Конструкція стіни W1	Розчин цементно-піщаний (0,02 м); Керамзитобетон (1400) (0,35 м); Розчин вапняно-піщаний (0,02 м);			Теплоізоляція	відсутня
Орієнтація	Пн	Сх	Пд	3	
Площа стіни, м ²	1211,23	433,46	629,29	682,38	
Конструкція стіни (W1,..)	W1	W1	W1	W1	
Коеф.теплопередачі k, Вт/м ² К	1,19	1,19	1,19	1,19	
Конструкція стіни W2	Розчин цементно-піщаний (0,02 м); Керамзитобетон (1400) (0,35 м); Розчин вапняно-піщаний (0,02 м); Вата мінеральна (0,12 м).			Теплоізоляція	Вата мінеральна (0,12 м).
Орієнтація	Пн	Сх	Пд	3	
Площа стіни, м ²	75	448,4925	527,5		
Конструкція стіни(W1,..)	W2	W2	W2		
Коеф.теплопередачі k, Вт/м ² К	0,35	0,35	0,35		

Для першої температурної зони мінімальне значення коефіцієнту теплопровідності $R_{qmin}=3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [16]. Порівнюючи із фактичним значенням ($1,03 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), можна зробити висновок, що фактичне значення не відповідає допустимому.

Вікна

Стан вікон можна побачити на рисунках 2.3-2.4. Розрахунок зведемо до таблиці 2.4.



Рисунок 2.3 – Стан рам



Рисунок 2.4 – Стан вікон

Таблиця 2.4 – Вікна

Загальна оцінка існуючого стану (поганий, задовільний, добрий)							поганий
Загальна площа, м²				1747,53	Коефіцієнт теплопередачі k (середній), Вт/м²К		2,85
Тип матеріалу			Д – дерево, П – пластик, А – алюміній, інше				
Тип рами/коробки			О - одинарний, Пд – подвійний, С – спарений				
Тип засклення			1зас– одинарне засклення, 2зас –подвійне засклення, 3зас – потрійне засклення				
Орієнтація	Розмір	Площа одного	Кількість	Загальна площа	Тип матеріалу	Тип заскління	k
	(a x b)	м²	шт	м²	(Д, П,..)		Вт/м²К
Пн	2,5x2	5,0	40	200	Д	Подвійне скління	3,57
Пн	2,5x2	5,0	23	115	МП	Подвійне скління	2,50
Пн	2,5x2	5,0	20	100	МП	Потрійне скління з двома селективними низько-емісійними покриттями	1,33
Пн	4,75x1,17	5,6	3	16,6725	МП	Потрійне скління з двома селективними низько-емісійними покриттями	1,33
Пн	2,6x2,4	6,2	5	31,2	Д	Подвійне скління	3,57
Пн	2,6x2,4	6,2	4	24,96	МП	Подвійне скління	2,50

Продовження таблиці 2.4

Сх	2,5х2	5,0	37	185	Д	Подвійне скління	3,57
Сх	2,5х2	5,0	5	25	МП	Подвійне скління	2,50
Сх	4,75х1,17	5,6	2	11,115	Д	Подвійне скління	3,57
Сх	4,75х1,17	5,6	2	11,115	МП	Подвійне скління	2,50
Сх	4,75х1,17	5,6	3	16,6725	МП	Потрійне скління з двома селективними низько-емісійними покриттями	1,33
Пд	2,5х2	5,0	50	250	Д	Подвійне скління	3,57
Пд	2,5х2	5,0	48	240	МП	Подвійне скління	2,50
Пд	2,5х2	5,0	11	55	МП	Потрійне скління з двома селективними низько-емісійними покриттями	1,33
Пд	4,75х1,17	5,6	4	22,23	Д	Подвійне скління	3,57
Пд	1,18х2	2,4	19	44,84	Д	Подвійне скління	3,57
З	2,5х2	5,0	28	140	Д	Подвійне скління	3,57

Продовження таблиці 2.4

3	2,5x2	5,0	27	135	МП	Подвійне скління	2,50
3	2,5x2	5,0	21	105	МП	Потрійне скління з двома селективними низько-емісійними покриттями	1,33
3	2,6x2,4	6,2	3	18,72	МП	Подвійне скління	2,50
Всього				1747,53	Усереднений коефіцієнт теплопередачі k , Вт/м ² К		2,85

Для першої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі $R_{qmin}=0,75 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [16]. Значення термічного опору більшості вікон не відповідають нормативним.

Зовнішні двері

У закладі наявні дерев'яні зовнішні двері (рисунок 2.5). Розрахунок зведемо до таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – Зовнішні двері

Таблиця 2.5 – Двері

Загальна оцінка існуючого стану (поганий, задовільний, добрий)					задовільний		
Загальна площа, м ²				30,34	Коефіцієнт теплопередачі k (середній), Вт/м ² К		3,39
Орієнтація	Розмір	Площа одного	Кількість	Загальна площа	Тип матеріалу	Тип рами	k
	(a x b)	м²	шт	м²	(Д, П,..)	(О, Пд)	Вт/м²К
Пн	5,25x2,6	13,65	1,00	13,65	Д	О	3,5
Пн	0,95x2,6	2,47	1,00	2,47	Д	О	3,5
Сх	0,95x2,6	2,47	1,00	2,47	Д	О	3,5
З	1,7x2,4	4,08	1,00	4,08	М	О	3
З	0,95x2,6	2,47	1,00	2,47	М	О	3
З	2x2,6	5,20	1,00	5,20	Д	О	3,5
Всього				30,34	Усереднений коефіцієнт теплопередачі k, Вт/м ² К		3,39

Для першої температурної зони, значення мінімального термічного опору для зовнішніх дверей становить $R_{qmin}=0,65 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [16]. Тобто, існуюче значення термічного опору ($0,30 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) не відповідає нормативному значенню.

Дах

У розглянутому навчальному закладі наявний дах двох конструктивних типів, а саме дах безпосередньо над опалювальними приміщеннями та дах над перекриттям. Теплоізоляція на обох типах даху відсутня.

Стан перекриттів – задовільний.

Матеріали, з яких складаються перекриття даху, наведені в таблиці 2.6.

Стан даху можна побачити на рисунках 2.6-2.7.

Розрахунок зведемо до таблиці 2.6.

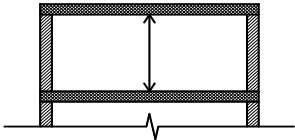


Рисунок 2.6 – Дах



Рисунок 2.7 – Стан даху

Таблиця 2.6 – Дах

Загальна оцінка існуючого стану (поганий, задовільний, добрий)					задовільний
Загальна площа, м ²		3325,93	Коефіцієнт теплопередачі k (середній), Вт/м ² К		0,81
Конструкція даху (безпосередньо над опалювальним приміщенням)		ЖБ плита перекриття постотіла (0,22 м);Гравій керамзитовий (0,1 м);Розчин цементно- піщаний (0,05 м);Руберойд, пергамін (0,015 м);		Теплоізоляція	відсутня
Тип даху	Розміри	Площа	Товщина	Конструкція	k
K1	м	м ²	м	Тип (K1, ...)	Вт/м ² К
Плита даху	-	1267,36	0,385	K1	0,82
Конструкція даху 		ЖБ плита перекриття постотіла (0,22 м);Гравій керамзитовий (0,1 м);Розчин цементно- піщаний (0,05 м);Руберойд, пергамін (0,015 м);		Теплоізоляція	відсутня
Тип даху	Розміри	Площа	Товщина	Конструкція	k
K2	м	м ²	м	Тип (K1, ...)	Вт/м ² К
Плита даху	-	2058,57	0,385	K2	0,80

Для першої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі $R_{qmin} = 4,95 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [16]. Порівнюючи зі значенням $1,23 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, можна зробити висновок, що існуюче значення термічного опору не відповідає нормативному значенню.

Підлога

Розрахунок зведемо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Підлога

Загальна оцінка існуючого стану (поганий, задовільний, добрий)						задовільний
Загальна площа, м ²			3215,595	Коефіцієнт теплопередачі k (середній), Вт/м ² К		0,26
Висота поверхні підлоги над рівнем зовн. ґрунту, м				0,5		
Висота поверхні підлоги під рівнем зовн. ґрунту, м				1,2		
Конструкція підлоги (неопалювальний підвал)		ЖБ плита перекриття постотіла (0,22 м);Гравій керамзитовий (0,1 м);Розчин цементно-піщаний (0,05 м);Лінолеум полівінілхлоридний багатошаровий та одношаровий без підоснови (0,005 м);			Теплоізоляція	відсутня
Тип підлоги	Розміри	Площа	Периметр	Товщина	Конструкція	k
Пл2	м	м ²	м	м	Тип (Пл1, ...)	Вт/м ² К
Масив підлоги	-	3147,345	529,6	0,375	Пл2	0,26
Стіни	529,6х0,5	264,8				
фундаменту	529,6х1,2	635,52				
Конструкція підлоги (над проїздами)		ЖБ плита перекриття постотіла (0,22 м);Гравій керамзитовий (0,15 м);Розчин цементно-піщаний (0,05 м);Лінолеум полівінілхлоридний багатошаровий та одношаровий без підоснови (0,015 м);			Теплоізоляція	відсутня
Тип підлоги	Розміри	Площа	Периметр	Товщина	Конструкція	k
Пл4	м	м ²	м	м	Тип (Пл1, ...)	Вт/м ² К
Масив підлоги	-	68,25	36,5	0,435	Пл4	0,46
Стіни	-	-				-
фундаменту	-	-				-

Для першої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі $R_{q\min} = 3,75 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [16]. Порівнюючи зі значенням $3,75 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, можна зробити висновок, що існуюче значення термічного опору відповідає нормативному значенню.

Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції

Тепловтрати конструкцій визначаються за формулою (2.3) [17]:

$$Q_a = \sum K_i \cdot F_i \cdot \Delta t \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n = \sum \frac{1}{R_0} \cdot F_i \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зв}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_i \quad (2.3),$$

де K_i - коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожень;

F – площа поверхні огорожувальної конструкції;

$t_{\text{вн}}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$. Значення залежить від призначення будівлі і місця розташування. Для навчального закладу $t_{\text{вн}} = 21^\circ\text{C}$.

$t_{\text{зовн}} = t_{\text{р.о.}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення. Для м. Києва приймається $t_{\text{р.о.}} = -22^\circ\text{C}$.

n – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур, залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря, $n=1$;

$\sum \beta$ - додаткові втрати теплоти. В даному розрахунку будуть включені тільки додаткові тепловтрати крізь ОК в залежності від орієнтації будівлі відносно сторін світу. Значення β для північної стіни становитиме 10%, для східної та західної – 5%, для південної 0%.

Втрати теплоти через зовнішні стіни:

$$Q_{\text{зст}} = \sum K_{\text{з.ст}} \cdot F_{\text{з.ст}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_{\text{з.ст}} \quad (2.4)$$

Підставимо значення у формулу (2.4):

$$\begin{aligned}
Q_{\text{з.ст}} &= \left((1,19 \cdot (1211,23 \cdot 1,1 + (433,46 + 628,38) \cdot 1,05 + 629,29 \cdot 1)) \right. \\
&\quad \left. + (0,35 \cdot (75 \cdot 1,1 + 448,49 \cdot 1,05 + 527,50 \cdot 1)) \right) \cdot (21 - (-22)) \cdot 1 \\
&= 173,696 \text{ кВт}
\end{aligned}$$

Аналогічно розрахуємо втрати теплоти через вікна:

$$Q_{\text{в}} = \sum K_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_{\text{в}} \quad (2.5)$$

Підставивши значення у формулу (2.5) отримаємо:

$$Q_{\text{в}} = 218,279 \text{ кВт}$$

Втрати теплоти через зовнішні двері рахуємо аналогічно:

$$Q_{\text{дв}} = \sum K_{\text{дв}} \cdot F_{\text{дв}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_{\text{дв}} \quad (2.6)$$

Підставивши значення у формулу (2.6) отримаємо:

$$Q_{\text{дв}} = 4,657 \text{ кВт}$$

Втрати теплоти через дах:

$$Q_{\text{дах}} = \sum K_{\text{дах}} \cdot F_{\text{дах}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \cdot n_{\text{дах}} \quad (2.7)$$

Підставимо значення у формулу (2.7) та отримаємо:

$$Q_{\text{дах}} = 112,826 \text{ кВт}$$

Втрати теплоти через підлогу:

$$Q_{\text{підлоги}} = \sum K_{\text{підлоги}} \cdot F_{\text{підлоги}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \quad (2.8)$$

Підставимо значення у формулу (2.8) та отримаємо:

$$Q_{\text{підлоги}} = 35,95 \text{ кВт}$$

Загальні втрати через огорожувальні конструкції знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{вт}} = Q_{\text{з.ст}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{д}} + Q_{\text{п}} \quad (2.9)$$

Підставимо значення у формулу (2.9):

$$Q_{\text{вт}} = 173,696 + 218,279 + 4,657 + 112,826 + 35,95 = 545,408 \text{ кВт}$$

Побудуємо діаграму втрат через огорожувальні конструкції, щоб наочно побачити через які з них втрачається найбільше теплової енергії (рисунок 2.8).

Взявши до уваги відношення теплової енергії бачимо, що велика кількість енергії втрачається через вікна, стіни та дах. Для них, в першу чергу, слід розробляти заходи з енергозбереження.

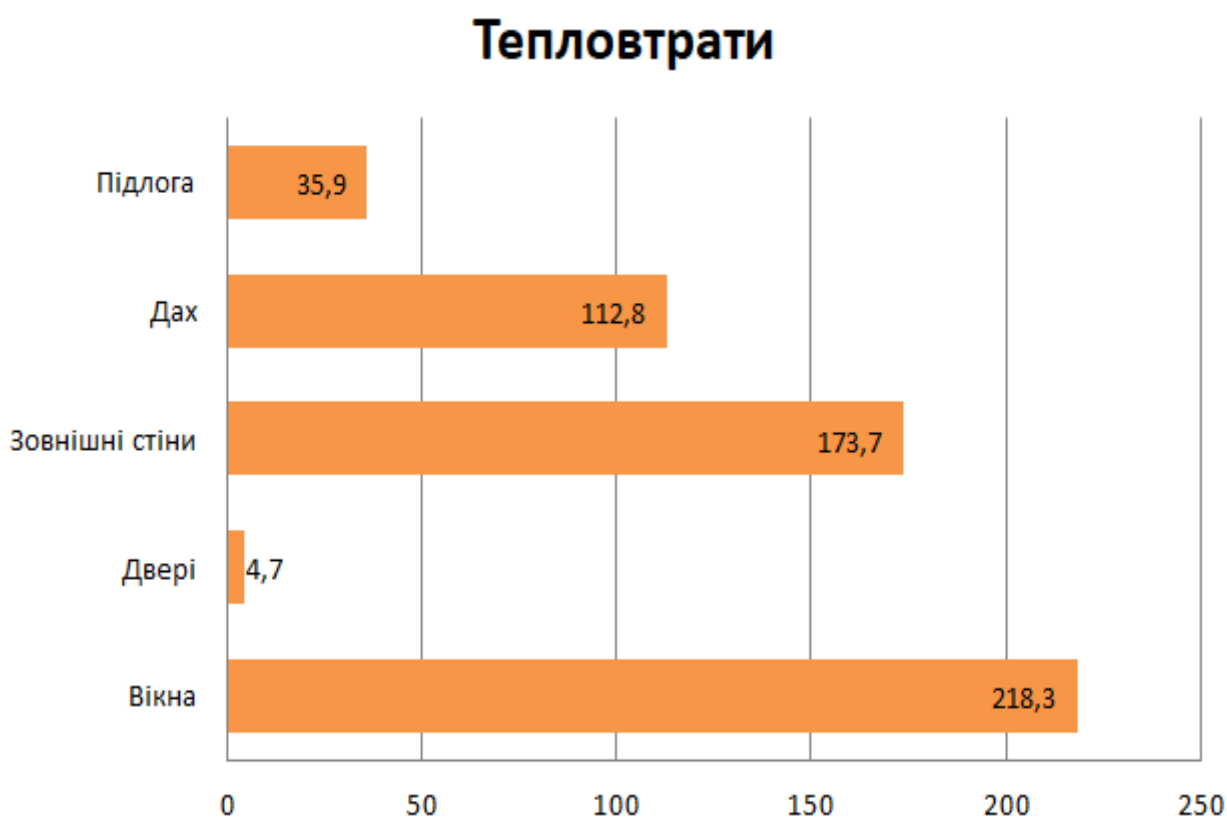


Рисунок 2.8 – Тепловтрати через огорожувальні конструкції

2.3 Аналіз інженерних систем будівлі

Система опалення

Інформацію щодо системи опалення зведемо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Система опалення

Теплопостачання		В дії, починаючи з (року)			1981
Тип системи		Центральне теплопостачання			
Енергоносії		вода			
Автоматичне регулювання		не налаштоване			
Зниження температури		відсутнє			
Система розподілу		Однотрубна (постійний гідравлічний режим). Система не налагоджена. Відсутня балансувальна арматура на стояках (горизонтальних вітках) системи.			
Повна потужність, кВт		616			
Матеріал труб		сталь			
Збалансована система розподілу		ні			
Балансувальні крани		ні			
Теплоносій		вода			
T1/T2, °C		90/70			
Система подачі теплоти					
Нагрівальні елементи	Чавунні батареї	Кількість, шт.	355	Потужність, кВт	616
Термостатичні крани на радіаторах	ні	Кількість, шт.	-	Тип	-

Система вентиляції

В будівлі запроектована припливно-витяжна вентиляція з механічним та природним побудженням. Припливно-витяжна система вентиляції наявна в кухні і знаходяться в неробочому стані. Вентиляція приміщень відбувається природнім способом.

Система гарячого водопостачання

Інформацію щодо системи гарячого водопостачання зведемо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Система гарячого водопостачання

В експлуатації з	1981	Стан			задовільний
Тип системи	Центральне теплопостачання				
Енергоносій	Вода				
Автоматичне регулювання				не налаштоване	
Насоси	Встановлена потужність, кВт	Питома потужність, Вт/м²	Період роботи, год/тиждень	Тип управління	
Насоси	1	0,14	168	управління ручне	

Система освітлення

Період роботи системи – 25 год/тиждень, 52 тижні/рік.

Інформацію щодо системи освітлення закладу зведемо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Система освітлення

Освітлювальні прилади	Потужність ламп, Вт	Кількість ламп у світильнику, шт	Потужність світильника, Вт	Кількість світильників, шт	Всього, кВт	Тип управління
Лампи люмінесцентні	18	2	36	5	0,18	управління ручне
Лампи люмінесцентні	18	4	72	64	4,608	управління ручне
Лампи розжарювання	60	1	60	362	21,72	управління ручне
Лампи розжарювання	60	3	180	5	0,9	управління ручне
Всього				436	27,408	

Розрахуємо річне споживання електроенергії системою освітлення [18]:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot t_{\text{осв}} = 27,408 \cdot 25 \cdot 52 = 35630,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Інше енергоємне обладнання

Інформацію щодо енергоємного обладнання зведемо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Інше енергоємне обладнання

Інше впливове	Кількість, шт.	Потужність одиниці, кВт	Загальна потужність, кВт	Період роботи, год/ тиждень
Комп'ютер	20	0,45	9	30
Принтер	10	0,5	5	2
Плита електрична	3	14,5	43,5	50
Електромясорубка	1	1,1	1,1	0,5
Пекарська шафа	1	5	5	4
Холодильна шафа	3	3,4	10,2	168
Морозильна камера	2	2	4	168
Всього			77,8	

Розрахуємо річне споживання електроенергії енергоємним обладнанням [19]:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{обл}} &= t_{\text{тижнів/рік}} \cdot \sum \left(P_{\text{обладнання}} \cdot t_{\frac{\text{год}}{\text{тиждень}}} \right) = \\
 &= 52(9 \cdot 30 + 5 \cdot 2 + 43,5 \cdot 50 + 1,1 \cdot 0,5 + 5 \cdot 4 + 10,2 \cdot 168 + 4 \cdot 168) \\
 &= 252779,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}
 \end{aligned}$$

Енергоспоживання

Дані щодо енергоспоживання закладу представлені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Енергоспоживання

Рік	Послуга	Електрична енергія	Опалення	ГВП	Водопостачання
2018	кВт*год	80 977	863 411	95 948	-
	%	7,78	82,99	9,22	-
	кошти	145 597	1 228 234	136 489	131 080
	%	8,87	74,83	8,32	7,99
2019	кВт*год	80 805	858 527	95 366	-
	%	7,81	82,97	9,22	-
	кошти	145 287	1 221 285	135 662	130 384
	%	8,90	74,81	8,31	7,99

Побудувавши діаграми енергоспоживання та витрат на енергоресурси, бачимо, що найбільше енергії та грошей витрачається на опалення (рисунок 2.9-2.10). Тому саме на заходи з покращення ефективності споживання теплової енергії слід в першу чергу звернути увагу.

Енергоспоживання

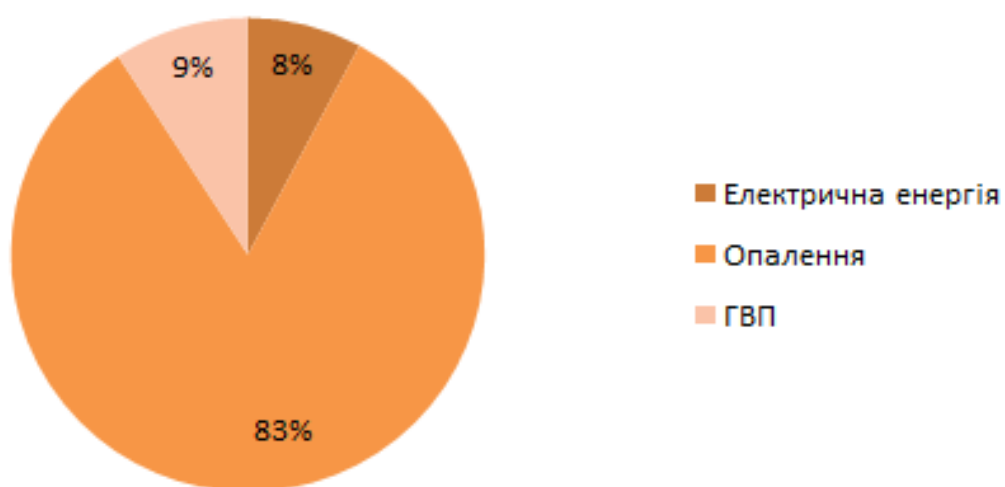


Рисунок 2.9 – Енергоспоживання

Витрати на енергоресурси

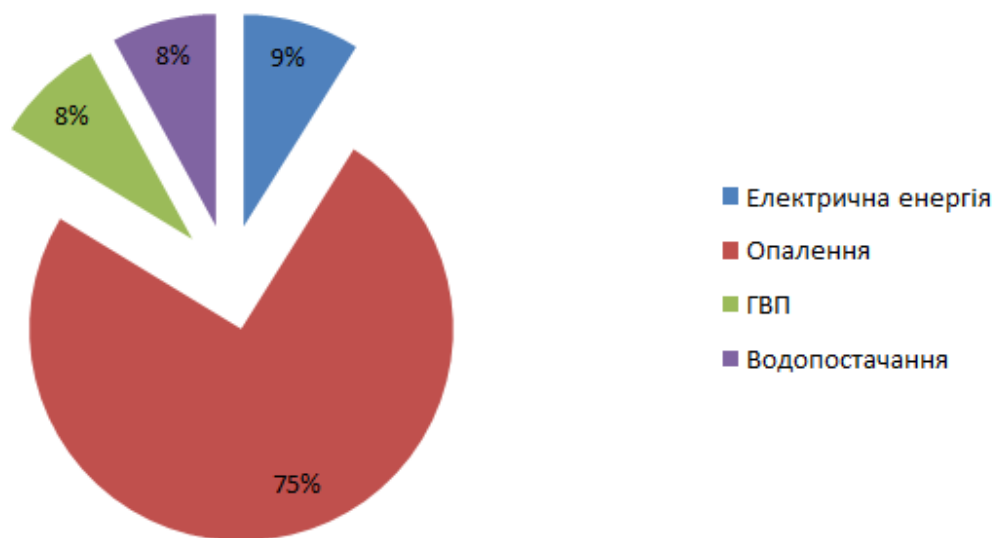


Рисунок 2.10 – Витрати на енергоресурси

2.4 Розробка заходів з підвищення енергоефективності

Виходячи з вищенаведених розрахунків були запропоновані наступні заходи з підвищення енергоефективності для даної будівлі:

1. Заміна світильників з люмінісцентними лампами та лампами розжарювання на енергоефективні (світлодіодні)

Пропонується виконати роботи по заміні ламп розжарювання на світлодіодні. Встановлення енергоефективної системи освітлення дозволить при нормованій, комфортній освітленості в приміщеннях споживати менше електроенергії. Світлодіодні лампи потужністю 10 Вт (E27). Світловіддача світлодіодної лампи складає 80 Лм/Вт Температура кольору лампи складає 4100 К. Термін служби КЛЛ складає 30 000 годин. Ціна однієї лампи 150 грн.

Після впровадження даного заходу річна економія електроенергії складе:

$$\Delta Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot t_{\text{осв}} = (27,408 - 6,43) \cdot 25 \cdot 52 = 27271,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Річна економія витрат складе:

$$E_{\text{осв}} = \Delta Q_{\text{осв}} \cdot T = 27271,4 \cdot 1,8 = 49088,52 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{B}{E} = \frac{96450}{49088,52} = 1,96 \text{ року}$$

2. Налаштування МІТП

Необхідно провести налагоджування системи автоматичного регулювання подачі теплоносія з врахуванням наступних вимог:

- налаштувати відключення опалення в вихідні дні (при неможливості відключення опалення повністю на цей період – збільшити проміжок часу, коли система опалення не працює).

- налаштувати повне відключення ГВП в вихідні дні;

Коректні налаштування систем автоматичного регулювання дозволять уникнути понаднормової витрати теплової енергії в вихідні дні, а також у осінньо-весняний період. Необхідно проводити налаштування систем автоматичного регулювання мінімум 2 рази на рік (перехід з осінньо-зимового періоду на весняно-літній, і навпаки).

Вартість даного заходу складає 3000 грн. Тариф на теплову енергію для бюджетних закладів 1654,4 грн/Гкал або 1,42 грн/кВт. Налаштування МІТП дає приблизно 4% економії.

Річна економія теплової енергії складе:

$$\Delta Q = 0,04 \cdot Q = 0,04 \cdot 953\,893 = 38155,72 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Річна економія витрат складе:

$$E = \Delta Q \cdot T = 38155,72 \cdot 1,42 = 54181,12 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{B}{E} = \frac{3000}{54181,12} = 0,1 \text{ року}$$

3. Встановлення локальних систем вентиляції

Даний захід є реноваційним та потребує капітальних витрат на відновлення роботи системи. Модернізацію системи вентиляції виконати шляхом встановлення припливно-витяжних вентиляційних установок з рекуператорами, а також прокладання нових повітропроводів до рекупераційних установок.

Також, слід зауважити, що робота механічної системи вентиляції призведе до збільшення споживання теплової енергії закладом відносно до фактичного енергоспоживання. Проте, даний захід є необхідним для покращення мікроклімату в учбових приміщеннях, зокрема у разі встановлення металопластикових вікон.

Вартість впровадження зазначеного заходу складає 3100000 грн.

4. Заміна дверей на більш енергоефективні

З метою уникнення понаднормових втрат теплової енергії через вхідні двері, а також забезпечення нормативних вимог відносно опору огорожувальних конструкцій будівлі, пропонуємо замінити існуючі дерев'яні та металеві двері службових входів/виходів на металопластикові з подвійним склопакетом, термічний опір яких становить $R=1,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Економія відбувається за рахунок зменшення коефіцієнта теплопровідності K . Отже, тепер опір теплопередачі задовольняє нормативному: $R=1,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{qmin} = 0,65 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а це означає, що коефіцієнт теплопередачі дверей зменшився на:

$$\Delta k_c = 3,39 - \frac{1}{1,67} = 2,79 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Отже втрати тепла через зовнішні двері зменшилися на:

$$\frac{\Delta k_c}{k_c} \cdot 100\% = \frac{2,79}{3,39} \cdot 100\% = 82,30\%$$

Знаючи тепловтрати через зовнішні двері, можемо визначити скільки тепла зекономить заміна дверей за рік:

$$\Delta Q = Q_{\text{дв}} \cdot 0,823 = 4,657 \cdot 0,823 \cdot 3,633 = 13,92 \text{ Гкал/рік};$$

Знаючи тариф на теплову енергію можемо знайти річну економію в грошових одиницях:

$$E = \Delta Q \cdot T = 13,92 \cdot 1654,4 = 23029,25 \text{ грн/рік};$$

Вартість встановлення дверей 142600 грн.

Для економічної оцінки проекту потрібно розрахувати простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{B}{E} = \frac{142600}{23029,25} = 6,2 \text{ років}$$

5. Заміна вікон на нові енергоефективні

Пропонується виконати роботи з заміни існуючих вікон в дерев'яних рамах на металопластикові з подвійним склопакетом. Нові вікна дозволять зменшити наднормові втрати тепла та покращити зовнішній вигляд будівлі, проте вони майже не пропускають повітря з вулиці, яке проходить через щілини в старих дерев'яних рамах. Отже, необхідно забезпечити нормативний повітрообмін в приміщенні шляхом встановлення сучасних енергоефективних систем вентиляції або, щонайменше – відкриванням вікон. Пропонуємо вікна металопластикові двокамерні з паспортним $R=0,75 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ (мінімальне значення опору теплопередачі $R_{\text{qmin}}=0,75 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$).

А це означає, що коефіцієнт теплопередачі вікон зменшився на:

$$\Delta k_c = 2,85 - \frac{1}{0,75} = 1,52 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Отже, втрати тепла через вікна зменшилися на:

$$\frac{\Delta k_c}{k_c} \cdot 100\% = \frac{1,52}{2,85} \cdot 100\% = 53,33\%$$

Знаючи тепловтрати через вікна, можемо визначити скільки тепла зекономить даний захід за рік:

$$\Delta Q = Q_b \cdot 0,5333 = 218,279 \cdot 0,5333 \cdot 3,633 = 422,87 \text{ Гкал/рік};$$

Знаючи тариф на теплову енергію можемо знайти річну економію в грошових одиницях:

$$E = \Delta Q \cdot T = 422,87 \cdot 1654,4 = 699596,13 \text{ грн/рік};$$

Вартість встановлення вікон 2653155 грн.

Для економічної оцінки проекту потрібно розрахувати простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{B}{E} = \frac{2653155}{699596,13} = 3,8 \text{ роки}$$

6. Утеплення даху

Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через дах будівлі. Пропонуємо утеплювач мінераловатні плити товщиною 200 мм.

Визначимо значення термічного опору утеплювача:

$$R_{\text{ут}} = \frac{\delta_{\text{ут.}}}{\lambda_{\text{ут.}}} = \frac{0,25}{0,06} = 4,17 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Отже, ми збільшили термічний опір даху на $3,33 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ (тепер він задовольняє нормативному: для першої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі $R = 5,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{qmin}} = 4,95 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), а це означає, що коефіцієнт теплопередачі зменшився на:

$$\Delta k_c = 0,81 - \frac{1}{4,17} = 0,57 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Отже втрати тепла через дах зменшилися на:

$$\frac{\Delta k_c}{k_c} \cdot 100\% = \frac{0,57}{0,81} \cdot 100\% = 70,37\%$$

Знаючи тепловтрати через дах, можемо визначити скільки тепла зекономить даний захід за рік:

$$\Delta Q = Q_{\text{дах}} \cdot 0,5333 = 112,826 \cdot 0,7037 \cdot 3,633 = 288,42 \text{ Гкал/рік};$$

Знаючи тариф на теплову енергію можемо знайти річну економію в грошових одиницях:

$$E = \Delta Q \cdot T = 288,42 \cdot 1654,4 = 477162,05 \text{ грн/рік};$$

Вартість утеплення даху 4323709 грн.

Для економічної оцінки проекту потрібно розрахувати простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{B}{E} = \frac{4323709}{477162,05} = 9,1 \text{ років}$$

7. Утеплення стін

Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Обираємо утеплювач – мінераловатні плити.

Визначимо значення термічного опору утеплювача:

$$R_{\text{ут}} = \frac{\delta_{\text{ут.}}}{\lambda_{\text{ут.}}} = \frac{0,12}{0,05} = 2,4 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Отже, ми збільшили термічний опір стін на $2,4 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ (тепер він задовольняє нормативному: для першої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі $R = 3,43 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{qmin}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), а це означає, що коефіцієнт теплопередачі зменшився на:

$$\Delta k_c = 0,97 - \frac{1}{2,4} = 0,55 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Отже втрати тепла через стіни зменшилися на:

$$\frac{\Delta k_c}{k_c} \cdot 100\% = \frac{0,55}{0,97} \cdot 100\% = 56,70\%$$

Знаючи тепловтрати через стіни, можемо визначити скільки тепла зекономить даний захід за рік:

$$\Delta Q = Q_{з.ст} \cdot 0,5333 = 173,696 \cdot 0,567 \cdot 3,633 = 357,76 \text{ Гкал/рік};$$

Знаючи тариф на теплову енергію можемо знайти річну економію в грошових одиницях:

$$E = \Delta Q \cdot T = 357,76 \cdot 1654,4 = 591878,14 \text{ грн/рік};$$

Вартість утеплення стін 4321571 грн.

Для економічної оцінки проекту потрібно розрахувати простий термін окупності:

$$T_{ок}^{пр} = \frac{B}{E} = \frac{4321571}{591878,14} = 7,3 \text{ року}$$

8. Впровадження дистанційної системи моніторингу енергоефективності

Оперативне отримання та аналіз даних про енергоспоживання є суттєвим інструментом для підвищення ефективності енерговикористання. Використання в рамках системи моніторингу енергоспоживання системи дистанційного збору дозволить вчасно виявляти, усувати понаднормові перевитрати енергоносіїв, збої в роботі обладнання, прогнозувати витрати на енергоносії, оцінювати ефективність впроваджених заходів.

На рисунках 2.11-2.13 наведено типові заходи з підвищення ефективності енергоспоживання для навчальних закладів та відповідні показники, які потрібно фіксувати для оцінки економії від їх впровадження, а також вид ресурсу, що економиться, та орієнтовний відсоток скорочення його споживання.

№	Захід	Ресурси, що економляться	Орієнтовний відсоток економії*	Пропозиції по вимірюванню та верифікації (показники, що мають фіксуватися)
1	Налаштування інженерних систем (ІТП, балансування, водопостачання) та впровадження системи моніторингу енергоспоживання	Теплова енергія та паливо, вода. Електроенергія – в меншому ступені.	10-20%	Вимірювання споживання теплової та електричної енергії, води до та після реалізації проекту, та фіксація внутрішньої та зовнішньої температури (для заходів, пов'язаних з опаленням)
2	Встановлення погодного регулювання теплоспоживання	Теплова енергія	10-20%	Вимірювання споживання теплової та електричної (для врахування можливого використання електроопалення)

Рисунок 2.11 – Перелік типових заходів з підвищення ефективності енергоспоживання з показниками, необхідними для об'єктивного визначення досягнутої економії

№	Захід	Ресурси, що економляться	Орієнтовний відсоток економії*	Пропозиції по вимірюванню та верифікації (показники, що мають фіксуватися)
	властивостей огорожувальних конструкцій (часткове або повне)			(палива), зовнішньої та внутрішньої температури до та після реалізації проекту

*При впровадженні одночасно декількох заходів відсотки, як правило, не додаються.

Для підвищення точності розрахунків економії можуть бути встановлені додаткові прилади обліку енергетичних ресурсів, що повинні пройти метрологічну повірку в установленому порядку та бути опломбованими представниками Замовника та Виконавця.

Рисунок 2.13 – Перелік типових заходів з підвищення ефективності енергоспоживання з показниками, необхідними для об'єктивного визначення досягнутої економії

№	Захід	Ресурси, що економляться	Орієнтовний відсоток економії*	Пропозиції по вимірюванню та верифікації (показники, що мають фіксуватися)
				енергії до та після реалізації проекту, фіксація внутрішньої та зовнішньої температури
3	Модернізація системи освітлення з заміною ламп та/або впровадженням систем управління	Електроенергія	50-80%	Вимірювання споживання електричної енергії до та після реалізації проекту, фіксація рівня освітленості, фіксація кількості годин роботи закладу
4	Використання електропідігріву на потреби гарячого водопостачання та опалення по нічному тарифу	Теплова енергія, паливо	30-60%	Вимірювання споживання електричної та теплової енергії (палива) до та після реалізації проекту. В разі використання електроопалення – фіксація зовнішньої та внутрішньої температур
5	Заміна модернізація обладнання харчоблоків	Електроенергія	5-30%	Вимірювання споживання електричної енергії до та після реалізації заходів, фіксація кількості приготованих порцій
6	Заміна/модернізація теплогенераторів (котлів)	Паливо	5-10%	Фіксація витрат палива до та після реалізації заходів, фіксація зовнішньої та внутрішньої температур, фіксація калорійності палива.
7	Модернізація системи опалення (утеплення трубопроводів, балансування системи, встановлення терморегуляторів)	Теплова енергія (паливо)	5-10%	Фіксація витрат електричної та теплової енергії (палива), зовнішньої та внутрішньої температури до та після реалізації проекту
8	Підвищення теплозахисних	Теплова енергія (паливо)	40-50%	Фіксація витрат теплової енергії

Рисунок 2.12 – Перелік типових заходів з підвищення ефективності енергоспоживання з показниками, необхідними для об’єктивного визначення досягнутої економії

2.5 Побудова базового рівня енергоспоживання

Важливою складовою системи моніторингу енергоефективності є встановлення базового рівня енергоспоживання та допустимого відхилення від нього. Це дозволить бачити аномально високе або низьке споживання енергоресурсів, вчасно фіксувати аварійні ситуації.

Обґрунтований базовий рівень споживання теплової енергії закладами бюджетної сфери є основою для:

- планування витрат на паливно-енергетичні ресурси та визначення обґрунтованих лімітів споживання паливно-енергетичних ресурсів;
- розрахунку економічного ефекту від впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання, зокрема термосанації;
- впровадження системи стимулювання ощадного використання паливно-енергетичних ресурсів в бюджетних закладах.

Базовий рівень енергоспоживання повинен враховувати фактичний стан будівель бюджетної сфери та дотримання санітарних умов в середині приміщень.

Базовий рівень фіксує існуючий стан теплоспоживання об'єкту за 3 роки, що передують впровадженню заходів з підвищення ефективності енергоспоживання, та коригується з урахуванням нормативних показників санітарних умов перебування людей у приміщеннях. За умови відсутності даних або впровадження інших заходів з підвищення ефективності енергоспоживання протягом зазначеного періоду даний термін може бути зменшений. Базовий рівень відповідає фактичному споживанню закладу за умови дотримання санітарних вимог та перевищує фактичне споживання за умови недотримання. Базовий рівень не повинен змінюватись протягом періоду реалізації енергоефективних проектів (окрім випадків зміни призначення будівлі, впровадження заходів, що впливають на

енергоспоживання поза рамками енергоефективних проектів, суттєвої зміни кількості персоналу та відвідувачів). Різниця між базовим рівнем споживання теплової енергії (з врахуванням погодних умов та інших впливових факторів) та фактичним споживанням теплової енергії визначає фактичну економію або перевитрати теплової енергії за звітний період. Величина економії теплової енергії залежить від ефективності її використання та від кліматичних умов [20].

Базовий рівень споживання теплової енергії визначається за формулою:

$$Q_{\text{б}}^{\text{заг}} = \frac{m^{\text{оп}}(t_{\text{норм}}^{\text{вн}} - t^{\text{зовн}})}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{\text{заг}}}{m_i^{\text{оп}}(t_i^{\text{вн}} - t_i^{\text{зовн}})} \right), \quad (2.10)$$

де $Q_{\text{б}}$ – базовий рівень споживання теплової енергії, Гкал/місяць;

m_i – кількість діб протягом i -го періоду, коли відбувалося теплопостачання;

$t_{\text{норм}}^{\text{вн}}$ – нормативна температура внутрішнього повітря в закладі, для школи $t_{\text{норм}}^{\text{вн}} = 21$ °C;

$t_i^{\text{зовн}}$ – середня за i -й період температура зовнішнього повітря;

$t_i^{\text{вн}}$ – середня за i -й період температура внутрішнього повітря, за відсутності підтвердженої інформації про її величину приймається рівною $t_{\text{норм}}^{\text{вн}}$, якщо за певний період спостерігалось недотримання санітарних умов, то дані за такий період не використовуються при розрахунку;

$t^{\text{зовн}}$ – середня температура зовнішнього повітря, протягом місяця (або за інший період часу, коли відбувається теплопостачання) для якого розраховується базовий рівень (згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»);

n – кількість періодів;

$Q_{\text{заг}, i}^{\text{заг}}$ – загальне споживання теплової енергії закладом протягом i -го періоду (враховуються лише місяці опалювального періоду: жовтень-квітень);

Вихідні дані для розрахунку наведенні в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Вихідні дані

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Споживання 2019	178	158	149	38	5	0	0	0	0	45	78	141
Споживання 2018	170	142	163	45	0	0	0	0	0	62	131	148
Споживання 2017	118	201	116	21	5	0	0	0	4	23	99	129
тдней	31	28	30	15	0	0	0	0	0	15	30	31
тнормзовн	-4,7	-3,6	1	9	15,2	18,3	19,8	19	13,9	8,1	1,9	-2,5
тзовн 2017	-4,9	-2,8	6,2	10,4	15,2	20	20,9	22,4	16,4	8,4	3,3	1,6
тзовн 2018	-3,8	-2,4	-1,9	13,1	18,8	20,6	21,4	22,5	17,3	10,7	0,3	-2,2
тзовн 2019	-4,5	-0,6	5,1	10,6	17	23,6	19,8	20,7	15,9	11,1	4,6	2,7

За вищенаведеною формулою (2.10) було розраховано базовий рівень теплоспоживання закладу та межі довірчого інтервалу, які, за рекомендаціями методики становлять 10% від базового рівня (таблиця 2.14).

Таблиця 2.14 – Базовий рівень теплоспоживання за методикою USAID

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Базовий рівень	157,55	178,99	162,18	45,32	0	0	0	0	0	53,28	106,18	162,41
Верхня межа	173,31	196,89	178,40	49,86	0	0	0	0	0	58,61	116,80	178,66
Нижня межа	141,80	161,09	145,96	40,79	0	0	0	0	0	47,95	95,56	146,17

За розрахованими значеннями базового рівня та верхньої і нижньої меж довірчого інтервалу (таблиця 2.14) було побудовано діаграму порівняння з фактичним споживанням за 2017-2019 роки (рисунок 2.14).

На рисунку 2.14 бачимо, що в лютому 2017 року та в листопаді 2018 року відбулася значна перевитрата теплової енергії.

Також, у січні, квітні, жовтні та грудні 2017 року, у лютому 2018 року та у квітні, травні та листопаді 2019 року бачимо яскраво виражене занизьке споживання теплової енергії розглянутого навчального закладом, що може пояснюватися самовільним відключенням опалення, з метою економії (рисунок 2.14).

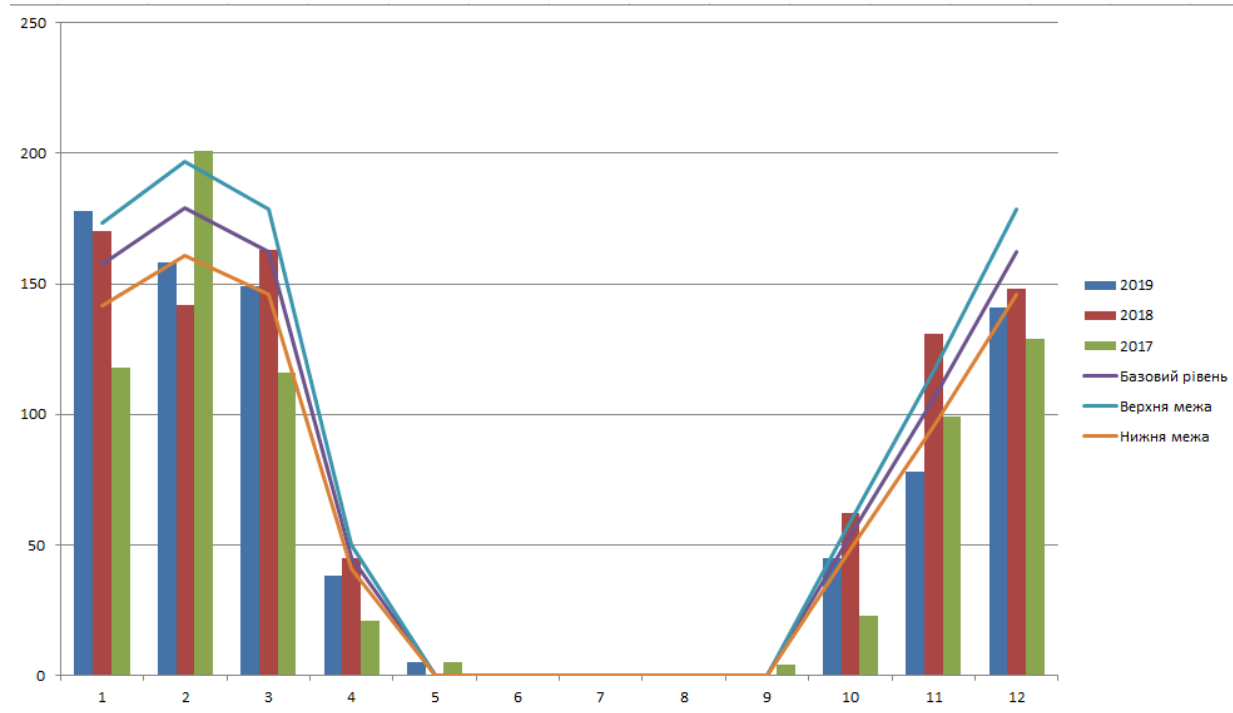


Рисунок 2.14 – Базовий рівень та фактичне споживання теплової енергії

2.6 Класифікація навчальних закладів

Основні групи бюджетних будівель за функціональним призначенням та відповідні режими споживання енергоресурсів (рисунок 2.15).

Тип будівлі	Режим роботи			Основні споживачі ПЕР
	Річний	Тижневий	Добовий	
Дитячі садки	Весь рік, зменшується кількість відвідувачів в літній період	5 днів	8 годин	система опалення, освітлення, кухня
Школи	Весь рік з перервами на канікули	5 днів	7-8 годин	система опалення, освітлення, кухня, комп'ютерна техніка

Рисунок 2.15 – Основні групи бюджетних будівель за функціональним призначенням

Також навчальні заклади можна класифікувати за типами проектів, за якими вони були збудовані (рисунки 2.16).

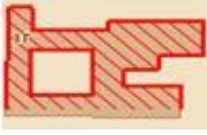
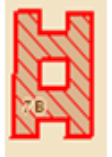








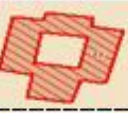



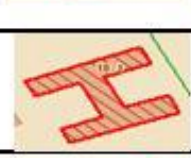
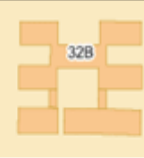



Вид	Позначення	Кількість будівель	Вид	Позначення	Кількість будівель
	Ш 1	5		С 1 (проект Т-7737)	94
	Ш 2 (проект 222-1-289)	31		С 2 (проект 212-1-144/78)	35
	Ш 3 (проект 222-1-322/79)	40		С 3 (проект Т-8748)	37
	Ш 4 (проект Т-8635)	7		С 6 (проект 2у-04-480кд-280/63)	109
	Ш 5	7		С 7.2 та С 7.4	36
	Ш 6 (проект Т-8740 (Т-8189))	20		С 9 (проект 468-1)	26
	Ш 7 (3 пов) (проект 2С-02-7)	15		С 11 (проект 2С-04-6/67)	45
	Ш 7.1 (4 пов.)	18		С 12 (проект 214-2-72)	10
	Ш 7.2 (проект 2-02-694)	28		С 15 (проект 402-1)	15
	Ш 15.1	10			

Рисунок 2.16 – Класифікація за типовими проектами у м. Києві

2.7 Критерії порівняння закладів за ефективністю енергоспоживання

Для порівняння ефективності енергоспоживання закладів використовуються наступні показники [7]:

По системі опалення:

Питоме споживання енергії/палива на потреби опалення з розрахунку на 1м²:

$$\Pi_{on}^1 = K_{\Pi} \cdot E_{on} / S_{on} ,$$

де E_{on} - кількість спожитої енергії та опалення (кВт-год);

K_n – коефіцієнт приведення, що використовується в разі якщо температура в закладі нижча за нормативну;

S_{on} – опалювальна площа будівлі;

$$\Pi_{on}^1 = K_{\Pi} \cdot E_{on} / V_{on} ,$$

де V_{on} – опалювальний об'єм будівлі;

$$K_{\Pi} = (T_{\epsilon}^{\phi} - T_z) / (T_{\epsilon}^n - T_z) ,$$

де T_z , T_{ϵ}^{ϕ} та T_{ϵ}^n – відповідно зовнішня, внутрішня фактична та внутрішня нормативні температури.

Використання питомого споживання з розрахунку на квадратний метр дозволяє порівнювати зазначений показник з нормативним відповідно до ДБН «Теплова ізоляція будівель». В разі споживання палива енергоспоживання розраховується виходячи з фактичних показників в натуральних одиницях з врахуванням калорійності палива.

По системі електроспоживання:

Питоме споживання електроенергії з розрахунку на 1 м² та на 1 особу.

$$\Pi_{ел1} = E_{ел} / S_{он} \text{ та } \Pi_{ел2} = E_{ел} / N_{пр},$$

де $N_{пр}$ – середньодобова кількість присутніх в закладі, включаючи відвідувачів та персонал.

По системі холодного водопостачання:

$$\Pi_{хвп} = C_{хвп} / N_{пр},$$

де $C_{хвп}$ – споживання холодної води;

По системі гарячого водопостачання:

$$\Pi_{гвп} = C_{гвп} / N_{пр},$$

де $C_{гвп}$ – споживання гарячої води;

Узагальнюючою характеристикою по закладу є питома вартість енергоресурсів, що визначається як:

$$B_e = (E_{он} \cdot T_{он} + E_{ел} \cdot T_{ел} + C_{хвп} \cdot T_{хвп} + C_{гвп} \cdot T_{гвп}) / S_{он},$$

де $T_{он}$, $T_{ел}$, $T_{хвп}$, $T_{гвп}$ – відповідно тарифи на опалення, електроенергію, холодне та гаряче водопостачання.

Зазначені показники аналізуються:

На рівні структурного підрозділу – раз на тиждень;

На рівні міста – раз на місяць;

На рівні району та області – раз на квартал;

На рівні країни – раз на півріччя.

На вищий рівень управління передаються наступні параметри щодо ефективності енергоспоживання бюджетних будівель [7]:

1. Кількість закладів з розбивкою за призначенням:

- дошкільні навчальні заклади,
- загальноосвітні навчальні заклади.

2. Опалювальна площа та опалювальний об'єм закладів з розбивкою за призначенням;

3. Середньодобова кількість відвідувачів та персоналу;

4. Інформація щодо споживання енергоресурсів за попередній період в розрізі груп будівель;

5. Інформація щодо наявності/відсутності централізованого теплопостачання, гарячої води, індивідуальних котелень на газу, на твердому палив (у відсотках від загальної опалювальної площі);

6. Питомі показники енергоспоживання для груп будівель;

7. Середньозважений тариф на енергоносії в розрізі груп будівель;

8. Інформація щодо вартості реалізованих заходів в звітному періоді по групам будівель;

9. Інформація щодо переліку заходів, що реалізовувались;

10. Інформація щодо прогнозованої економії в натуральних показниках по групам будівель;

11. Інформація щодо температури зовнішнього повітря за звітний період.

Ефективність функціонування системи енергоменеджменту в місті оцінюється по наступним критеріям:

1. Неперевищення споживання енергоресурсів базового рівня.

2. Зниження споживання енергоресурсів відносно базового рівня. При цьому під час підрахунку не враховуються заклади, де було виявлена невідповідність нормативним вимогам мікроклімату.

Висновки до розділу 2

Проведено енергетичне обстеження стану та проаналізовано інженерні системи навчального закладу. Було побудовано енергетичний баланс споживання енергетичних ресурсів та пораховані тепловтрати будівлі через огорожувальні конструкції, а також, аналізуючи вищеперераховані дії запропоновано заходи з енергозбереження, а саме:

- Заміна світильників з люмінісцентними лампами та лампами розжарювання на енергоефективні (світлодіодні)
- Налаштування МІТП
- Встановлення локальних систем вентиляції
- Заміна дверей на більш енергоефективні
- Заміна вікон на нові енергоефективні
- Утеплення даху
- Утеплення стін
- Впровадження дистанційної системи моніторингу енергоефективності

Запропоновані заходи не тільки покращать ефективність енерговикористання навчального закладу, а й допоможуть поліпшити умови мікроклімату, що в свою чергу сприятиме підвищенню рівня комфорту для учнів та персоналу школи. Також, провадження заходів з підвищення енергоефективності у кінцевого споживача енергоресурсів безпосередньо впливає на зменшення кількості викидів від джерела енергопостачання.

Побудовано базовий рівень теплоспоживання, що допоможе в майбутньому оцінити ефективність від впроваджених заходів. Наведено показники, які дозволять порівняти між собою заклади за ефективністю енергоспоживання.

3 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

3.1 Побудова базового рівня енергоспоживання на основі регресійного аналізу

На практиці споживання енергоресурсів змінюється під впливом багатьох різноманітних факторів, які треба вміти виявити та оцінити. Явний вигляд залежності досліджуваного показника від декількох факторів, що впливають на його зміну, а також кількісно оцінити цей вплив, допомагає знайти багатфакторний регресійний аналіз. Більшість розрахунків є досить складними, тому доречним є використання обчислювальної техніки. Тому побудова та аналіз багатфакторних регресійних моделей базується на сучасних пакетах прикладних програм.

Процес побудови багатфакторної регресійної моделі складається з декількох етапів [23]:

1. Вибір та аналіз усіх можливих факторів, які впливають на процес (або показник), що вивчається.
2. Вимір та аналіз обраних факторів.

На етапі кількісного аналізу дослідник повинен оцінити можливість кількісного вираження відібраних факторів, провести вимірювання або зібрати статистику для кількісних факторів; підібрати або розробити балову шкалу оцінок для якісних даних. Якщо деякі фактори неможливо кількісно виразити, їх треба вилучити з подальшого розгляду. Крім того можуть бути вилучені фактори, за якими нема статистики або вона недоступна. Після того, як усі фактори проаналізовано, подано у кількісному вигляді, тобто у вигляді варіаційних або динамічних рядів, переходять до третього етапу.

3. Математико-статистичний аналіз факторів.

На цьому етапі проводиться перевірка факторів на мультиколінеарність. Термін «мультиколінеарність» означає, що в багатфакторній регресійній моделі

дві або більше залежних змінних (факторів) пов'язані між собою лінійною залежністю або, іншими словами, мають високий ступінь кореляції. Коефіцієнти парної кореляції між факторами аналізуються. Якщо їх значення доближаються до одиниці – це вказує на щільний зв'язок між ними, або на мультиколінеарність. В такому випадку один з таких факторів необхідно вилучити із подальшого розгляду, інший – залишають. Найчастіше залишають той фактор, який має більший коефіцієнт кореляції з результативним показником y .

4. Вибір методу та побудова регресійної багатфакторної моделі.
5. Оцінка невідомих параметрів регресійної моделі.

У лінійних регресійних моделях оцінка параметрів здійснюється за методом найменших квадратів (МНК).

6. Перевірка моделі на адекватність.

Перевірка проводиться після знаходження параметрів регресії, за допомогою F -критерію Фішера. Крім того, відбувається перевірка значущості параметрів моделі за t -критерієм Ст'юдента. Якщо модель виявиться неадекватною, необхідно повернутися до етапу побудови моделі і, можливо від лінійної моделі перейти до нелінійної, або ввести додаткові фактори. Якщо модель виявиться адекватною, то робота може бути продовжена.

7. Розрахунок основних характеристик та побудова інтервалів довіри.

В такому випадку може вивчатися вплив окремих факторів на залежний показник, будуються інтервали довіри.

8. Аналіз отриманих результатів, висновки, прогноз.

Загальний вигляд початкової регресійної моделі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n, \quad (3.1)$$

де y – залежна змінна;

x_i – незалежні змінні (фактори);

a_i – параметри моделі.

Оцінка параметрів лінійної моделі здійснюється за МНК, розв'язуванням системи нормальних рівнянь, яка записується у матричному вигляді:

$$(X^T X)A = X^T Y \quad (3.2)$$

Звідки:

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3.3)$$

де X^T – транспонована матриця X ;

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} - \text{матриця-стовпець результативної ознаки};$$

$$A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix} - \text{матриця-стовпець невідомих параметрів};$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} - \text{матриця розмірності } (n \times (p + 1)) \text{ п спостережень за } p$$

змінними x_1, x_2, \dots, x_p , де перший стовпчик вміщає значення 1 для отримання перетину. Матрицю X ще називають матрицею спостережень.

Отримавши значення параметрів моделі, проводиться перевірка моделі на адекватність.

Для перевірки адекватності отриманої моделі обчислюють залишки:

$$u_i = y_i - y_i^*, \quad (3.4)$$

де y_i^* - розрахункове значення y .

Квадрат коефіцієнта множинної кореляції називають коефіцієнтом детермінації і позначають R^2 . Можна показати, що у випадку багатofакторної регресії коефіцієнт детермінації має вигляд:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.5)$$

Чим ближчий він до одиниці, тим більша варіація залежної змінної y визначається варіацією незалежної змінної x (є тісний зв'язок між залежною та незалежними змінними).

Гіпотеза про наявність чи відсутність зв'язку між залежною і незалежною змінними може бути перевірена на основі F-критерію, який можна розрахувати через коефіцієнт детермінації:

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k}{k - 1}, \quad (3.6)$$

де n – кількість спостережень;

k – кількість параметрів.

Фактичне значення даного критерію порівнюється з критичним для заданого рівня значимості α . $F_{кр}$ дорівнює квантилю $(1-\alpha)$ розподілу Фішера з $(k-1, n-k)$ ступенями вільності та знаходиться за F-таблицями Фішера. Якщо $F_{\text{факт}} > F_{кр}$, то нульова гіпотеза відкидається і з імовірністю $(1-\alpha)$ можна стверджувати, що побудована нами модель є адекватною. У протилежному випадку вона приймається, і модель вважається неадекватною.

Перевірка значущості параметрів моделі за t -критерієм Ст'юдента.

Обчислюється t -статистика за формулою:

$$t_{\text{розн}} = \frac{R\sqrt{n-k}}{\sqrt{1-R^2}}, \quad (3.7)$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації моделі;

R – коефіцієнт кореляції;

$n-k$ – число ступенів свободи.

Значення $t_{розр}$ порівнюємо з критичним значенням, яке є квантиль $t_{\alpha/2}$ випадкової величини, підпорядкованої закону розподілу Стюдента з $(n-k)$ ступенями вільності. Якщо $|t_{розр}| > t_{кр}$, то можна зробити висновок про значущість коефіцієнта кореляції між залежною та незалежними змінними моделі. З цього слідує, що основна гіпотеза про незначущість параметрів моделі регресії відкидається, тобто відповідні фактори визнаються значимими і залишаються в рівнянні регресії.

Модель багатофакторної лінійної регресії можна використовувати для побудови базового рівня, а також прогнозування споживання енергії. Для визначення факторних ознак, які впливають на регресійну модель, використаємо програмне забезпечення MS Excel 2007. Побудуємо модель множинної лінійної регресії, обравши інструмент аналізу «Регресія». За результативну ознаку (Y) обираємо споживання енергії за місяць, за факторні ознаки ($X1$, $X2$, $X3$) - відповідно середньомісячну зовнішню температуру, градусодобу, тривалість світлового дня (таблиця 3.1) [21, 22].

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

Місяць	Споживання теплової енергії 2018, Гкал	Зовнішня температура, С	Градусодоби	Тривалість світлового дня, год
1	170	-3,8	768,8	8,5
2	142	-2,4	655,2	10,1
3	163	-1,9	709,9	11,9
4	45	13,1	118,5	13,8
5	0	18,8	0	15,5
6	0	20,6	0	16,4
7	0	21,4	0	15,9
8	0	22,5	0	14,5
9	0	17,3	0	12,6
10	62	10,7	154,5	10,7
11	131	0,3	621	9
12	148	-2,2	719,2	8,1

Для проведення розрахунків визначаємо [24, 25]:

- обсяг вибірки $n = 12$,
- кількість незалежних змінних – факторних ознак (це кількість параметрів у рівнянні регресії без вільного члена) $k = 3$,
- число ступенів свободи df за формулою $df = n - k - 1 = 12 - 3 - 1 = 8$
- рівень значущості $\alpha = 0,05$;
- рівень надійності = 95%.

Загальний вигляд початкової регресійної моделі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

Результати наведемо на рисунку 3.1.

ВЫВОД ИТОГОВ						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множественный R	0,994849882					
R-квадрат	0,989726287					
Нормированный R-квадрат	0,985873645					
Стандартная ошибка	8,689031542					
Наблюдения	12					
<i>Дисперсионный анализ</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	3	58186,25585	19395,41862	256,8954486	2,73035E-08	
Остаток	8	603,9941531	75,49926914			
Итого	11	58790,25				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	61,33563669	28,31106309	2,166490057	0,062157598	-3,949791877	126,6210653
Переменная X 1	-3,748317397	1,536531392	-2,439466851	0,040598256	-7,291565141	-0,205069652
Переменная X 2	0,104202525	0,041812134	2,492159929	0,037396138	0,007783571	0,200621479
Переменная X 3	1,111038013	2,002831152	0,554733739	0,594242126	-3,507498906	5,729574933

Рисунок 3.1 – Перша ітерація

Запишемо загальне рівняння множинно-лінійної регресії:

$$y = 61,33563669 - 3,748317397x_1 + 0,104202525x_2 + 1,111038013x_3$$

де $a_0 = 61,33563669$ – вільний член;

$a_1 = -3,748317397$ – коефіцієнт при x_1 ;

$a_2 = 0,104202525$ – коефіцієнт при x_2 ;

$a_3 = 1,111038013$ – коефіцієнт при x_3 ;

p -значення₁ = 0,040598256;

p -значення₂ = 0,037396138;

p -значення₃ = 0,594242126.

Проаналізувавши рівняння регресії робимо висновок, що на споживання енергії має найменший вплив фактор X_3 , оскільки рівень надійності $P = 95\%$, значить ймовірність прийняття нульової гіпотези – p -значення має бути найбільшим серед інших.

Тож виконуємо другу ітерацію, виключивши найменш впливовий фактор X_3 (рисунок 3.2).

Вывод итогов						
Регрессионная статистика						
Множественный R	0,994651244					
R-квадрат	0,989331096					
Нормированный R-квадрат	0,986960229					
Стандартная ошибка	8,348170173					
Наблюдения	12					
Дисперсионный анализ						
	df	SS	MS	F	Значимость F	
Регрессия	2	58163,02249	29081,51125	417,286548	1,33826E-09	
Остаток	9	627,2275071	69,69194523			
Итого	11	58790,25				
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	68,72780435	23,99898268	2,863779905	0,018665004	14,43833377	123,0172749
Переменная X 1	-3,288594326	1,243127711	-2,64541953	0,026675733	-6,100744582	-0,476444069
Переменная X 2	0,110080206	0,038860666	2,832689642	0,019636019	0,022171272	0,197989139

Рисунок 3.2 – Друга ітерація

Запишемо загальне рівняння множинно-лінійної регресії після другої ітерації:

$$y = 68,72780435 - 3,288594326x_1 + 0,110080206x_2$$

$$p\text{-значення}_1 = 0,026675733 < 0,05;$$

$$p\text{-значення}_2 = 0,019636019 < 0,05;$$

Отже, середньомісячна зовнішня температура та градусодоба є суттєво впливають на споживання теплової енергії закладу.

Перевіряємо модель на адекватність за допомогою критерія Фішера. Фактичне значення даного критерію (рисунок 3.4, F) порівнюється з критичним для заданого рівня значимості α . $F_{кр}(2;12;0,05)=3,89$. Бачимо, що $F_{факт} > F_{кр}$, тому нульова гіпотеза відкидається і з імовірністю $(1-\alpha)=95\%$ можна стверджувати, що побудована нами модель є адекватною [26].

Для визначення значимості факторів, потрібно визначити значущість параметрів моделі. Перевіркою статистичної гіпотези про значущість параметрів моделі є перевірка припущення, що дані параметри суттєво відрізняються від нуля.

Вказані вище гіпотези перевіряємо за допомогою t -критерію Стьюдента. Розраховане значення t -критерію $t_{\text{розрах}} (рисунк 3.4, t\text{-статистика})$ порівнюємо зі значенням t -критерію, яке визначається за таблицею розподілу Стьюдента і називається критичним $t_{\text{крит}} = 2,26$ [27]. Бачимо, що для двох факторів значення $|t_{\text{розрах}}| > t_{\text{крит}}$. З цього слідує, що основна гіпотеза про незначущість параметрів моделі регресії відкидається, тобто відповідні фактори визнаються значимими і залишаються в рівнянні регресії.

Встановлюємо базові лінії споживання енергії на основі одержаного рівняння регресії.

3.2 Визначення довірчого інтервалу до рівняння базового рівня енергоспоживання

Для індивідуальних значень функції відгуку наявної математичної моделі може бути побудований довірчий інтервал. Довірчий інтервал для індивідуального значення Y з координатами X_1, X_2, \dots, X_n у матричній формі записується наступним чином [28]:

$$Y = Y^* \pm t\left(\frac{\alpha}{2}, f\right) \cdot \sigma \cdot \sqrt{1 + [X] \cdot [D] \cdot [X^T]}, \quad (3.8)$$

де Y^* – розрахункове значення споживання енергії, отримані за допомогою багатфакторного рівняння регресії;

$t(\alpha/2; f)$ – коефіцієнт розподілу Стьюдента при двосторонній імовірності і кількості ступенів свободи df ;

σ – середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат енергії від результатів моделювання за допомогою визначеного рівня регресії;

$[X]$ – матриця значень незалежних змінних (факторів), які використовуються у математичній моделі;

$[D]$ – коваріаційно-дисперсійна матриця вектора параметрів (констант) рівняння математичної моделі;

$[X]^T$ – транспонована матриця $[X]$.

Для багатфакторної математичної моделі визначаємо верхню та нижню границі довірчих інтервалів до розрахункових значень споживання теплової енергії. Розрахунки проводимо згідно формули (3.8) за допомогою MS Excel.

Приклад розрахунку виконаємо для першого значення, для якого отримані наступні дані:

$$X1 = -3,8 \text{ } ^\circ\text{C}, X2 = 768,8, Y = 170 \text{ Гкал.}$$

Для рядів значень факторів, за якими було побудовано математичну модель, обчислюємо значення коваріацій за формулою [29]:

$$\text{cov}(a, b) = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} (a - a_{\text{сеп}})(b - b_{\text{сеп}}), \quad (3.9)$$

дістанемо:

$$\text{cov}(X1, X1) = 105,4606,$$

$$\text{cov}(X1, X2) = -3312,960278,$$

$$\text{cov}(X2, X2) = 107919,8.$$

Тоді інформаційна матриця записується у вигляді:

$$M = \begin{pmatrix} 105,4606 & -3312,96 \\ -3312,96 & 107919,8 \end{pmatrix},$$

а обернена до неї матриця матиме вигляд:

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} 0,266091 & 0,008169 \\ 0,008169 & 0,00026 \end{pmatrix},$$

і коваріаційно-дисперсійна матриця визначатиметься наступним чином:

$$D = \frac{1}{20} M^{-1} = \begin{pmatrix} 0,022174 & 0,000681 \\ 0,000681 & 2,1669E-05 \end{pmatrix}.$$

Матриця факторів для першого значення даних:

$$X = \begin{pmatrix} -3,8 \\ 768,8 \end{pmatrix}, \text{ транспонована матриця факторів: } X^T = (-3,8 \quad 768,8).$$

Середньоквадратичне відхилення фактичних значень теплоспоживання від розрахункових, отриманих за допомогою математичної моделі, становить:

$$\sigma = 0,374382.$$

Значення коефіцієнту Стюдента для ступенів свободи $f_e = 12 - 1 = 11$ та рівня статистичної значимості $\alpha = 0,95$ становитиме $T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) = 2,2$ [27].

Верхня межа довірчого інтервалу для теплоспоживання при першому значенні даних за (3.8):

$$Y_{\text{верх}} = 165,8541 + 2,2 \times 0,374382 \times \sqrt{1 + (-3,8 \quad 768,8) \times \begin{pmatrix} 0,022174 & 0,000681 \\ 0,000681 & 2,1669E-05 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -3,8 \\ 768,8 \end{pmatrix}} = 168,4782$$

Нижня межа довірчого інтервалу для тієї ж величини фактичного теплоспоживання за (3.8):

$$Y_{\text{ниж}} = 165,8541 - 2,2 \times 0,374382 \times \sqrt{1 + (-3,8 \quad 768,8) \times \begin{pmatrix} 0,022174 & 0,000681 \\ 0,000681 & 2,1669E-05 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -3,8 \\ 768,8 \end{pmatrix}} = 163,23$$

Проміжні розрахунки та результати обчислення границь довірчого інтервалу для інших значень фактичного споживання теплової енергії наведені у таблиці 3.2.

Графічний вигляд результатів розрахунків границь довірчого інтервалу для теплоспоживання, визначених за рівнянням математичної моделі, представлено на рисунку 3.3.

Таблиця 3.2 – Розрахунок довірчого інтервалу

Місяць	Зовнішня температура, °С	Градусодоби	Факт	Розрахунок	Б	X _{TDX}	Нижня межа	Верхня межа
1	-3,8	768,8	170	165,8541	0,374382	9,15038	163,23	168,478
2	-2,4	655,2	142	148,745	0,374382	7,289108	146,373	151,116
3	-1,9	709,9	163	153,1221	0,374382	9,163985	150,496	155,748
4	13,1	118,5	45	38,69172	0,374382	6,223013	36,478	40,905
5	18,8	0	0	6,902231	0,374382	7,837266	4,454	9,351
6	20,6	0	0	0,982761	0,374382	9,409864	-1,675	3,640
7	21,4	0	0	-1,64811	0,374382	10,15492	-4,399	1,103
8	22,5	0	0	-5,26557	0,374382	11,22571	-8,145	-2,386
9	17,3	0	0	11,83512	0,374382	6,636531	9,559	14,111
10	10,7	154,5	62	50,54724	0,374382	5,306614	48,479	52,616
11	0,3	621	131	136,101	0,374382	8,612065	133,548	138,655
12	-2,2	719,2	148	155,1324	0,374382	9,161456	152,507	157,758

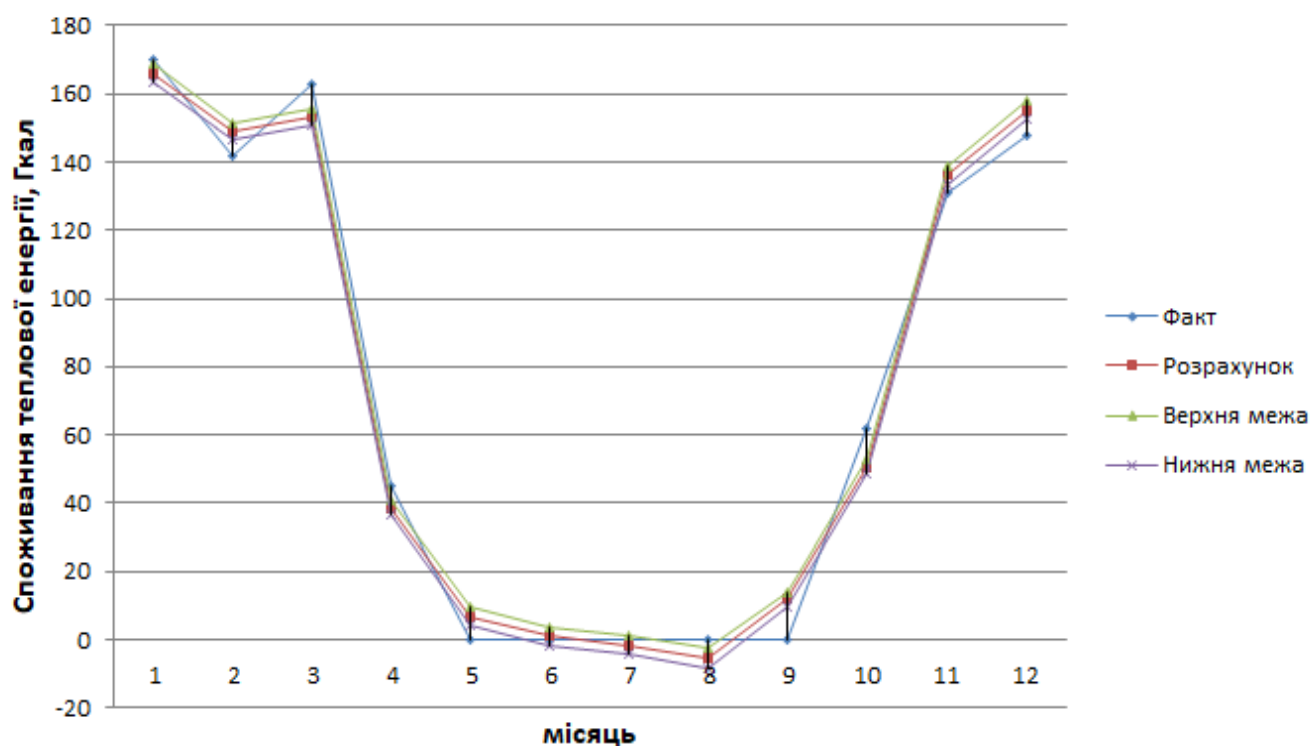


Рисунок 3.3 – Графічне зображення довірчого інтервалу

3.3 Розробка системи моніторингу енергоефективності

3.3.1 Моніторинг енергетичної ефективності на основі побудови графіка CUSUM

Цей графік характеризує тенденцію зміни в часі результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті [28].

Побудова графіка CUSUM базується на покроковому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та отриманими на основі відповідного базового рівня обсягами теплоспоживання на об'єкті. При цьому величина відхилення фактичного обсягу споживання теплової енергії відносно встановленого базового рівня для деякого i -того періоду буде рівна [30]:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт.}i} - W_{\text{прогноз.}i}, \quad (3.10)$$

де $W_{\text{факт.}i}$ – фактичний обсяг споживання теплової енергії;

$W_{\text{прогноз.}i}$ – прогнозна величина споживання теплової енергії за той самий період, визначена за встановленим базовим рівнем.

Розрахунок значення кумулятивної суми відхилень фактичного споживання електроенергії і ΔW_i на k -му кроці контролю виконання встановленого базового рівня електроспоживання виконується за формулою [30]:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (3.11)$$

де $\Delta W_{\Sigma k}$ - сумарне відхилення споживання теплової енергії від його базового рівня отримане протягом минулих k періодів контролю;

ΔW_i - відхилення споживання теплової енергії від базового рівня на i -тому кроці контролю;

$\Delta W_{\Sigma k-1}$ - сумарне відхилення фактичних обсягів споживання теплової енергії від базового рівня, отримане протягом минулих $k-1$ періодів контролю;

ΔW_k - відхилення споживання теплової енергії від базового рівня на k -тому кроці контролю.

За приведеною вище методикою (3.10, 3.11) за допомогою MS Excel розрахуємо значення кумулятивної суми відхилень фактичного споживання

теплоенергії на кожному кроці контролю. Результати розрахунків зведемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані для побудови графіка CUSUM

Факт	Розрахунок	ΔW_i	$\Delta W_{\Sigma k}$
170	165,854125	4,145875	4,145875
142	148,744981	-6,74498	-2,59911
163	153,122072	9,877928	7,278822
45	38,6917231	6,308277	13,5871
0	6,90223103	-6,90223	6,684868
0	0,98276124	-0,98276	5,702107
0	-1,6481142	1,648114	7,350221
0	-5,265568	5,265568	12,61579
0	11,8351225	-11,8351	0,780666
62	50,5472368	11,45276	12,23343
131	136,101034	-5,10103	7,132396
148	155,132396	-7,1324	-1,4E-14

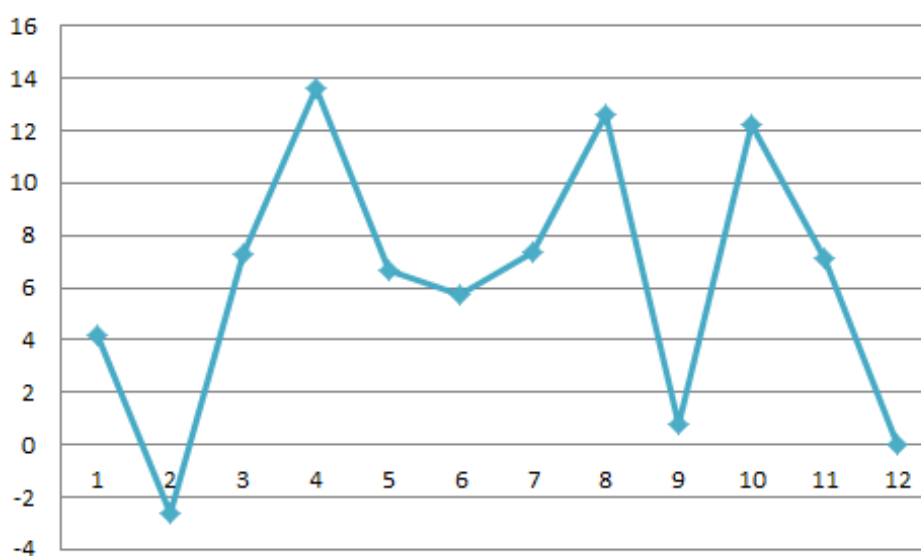


Рисунок 3.4 – Графік кумулятивної суми

На основі даних таблиці 3.3 побудовано графік кумулятивної суми (рисунок 3.6). У зв'язку з тим, що на кожному кроці величина $\Delta W_{\Sigma k}$ є додатною, можна сказати, що економія енергоресурсів не відбувається.

3.3.2 Моніторинг енергетичної ефективності з використанням контрольних карт Шухарта

Контрольна карта – це графічний засіб, що використовує статистичні підходи, важливість яких для управління виробничими процесами була вперше показана доктором В. Шухартом в 1924 році. Спочатку вони використовувалися тільки для реєстрації результатів вимірювань необхідних властивостей продукції. Вихід параметра за межі поля допуску свідчив про необхідність зупинки виробництва і проведенні коригування процесу відповідно до знань фахівця, керуючого виробництвом [31].

В. Шухарт вважав, що контрольні карти повинні відповідати трьом головним вимогам.

1. Визначати необхідний рівень або номінал процесу, на досягнення якого повинен бути націлений персонал підприємства.
2. Використовуватися як допоміжний засіб для досягнення цього номіналу.
3. Служити як основа для визначення відповідності номіналу й допускам.

Таким чином, принципи побудови контрольних карт В. Шухарта охоплюють коло понять, пов'язаних зі стабілізацією виробничого процесу, його продуктивністю й оцінкою якості, а реалізація цих принципів сприяє взаємозв'язку різних напрямків господарської діяльності.

Теорія контрольних карт розрізняє два види мінливості. Перший вид – випадкова мінливість через «випадкові причини» (відомі ще як «звичайні причини»). Вона зумовлена широким набором причин, що присутні постійно, які нелегко виявити, кожна з таких причин становить дуже малу частку загальної мінливості, і жодна з них не значима сама по собі. Проте сума всіх цих причин вимірна і вважають, що вона є внутрішньою суттю процесу. Унеможливлення чи зменшення впливу звичайних причин вимагає управлінських рішень для виділення ресурсів на поліпшення процесу і системи.

Другий вид мінливості являє собою реальні зміни в процесі. Вони можуть бути наслідком деяких обумовлених причин, не властивих процесу внутрішньо і можуть бути усунуті, принаймні теоретично. Ці причини, які виявляють,

розглядають як «невипадкові» чи «особливі» причини зміни. До них можуть бути віднесені поломка обладнання, кваліфікація персоналу, невиконання процедур.

Мета контрольних карт – знайти неприродні зміни в даних для процесів, які повторюються, і дати критерії для виявлення недостатку статистичного керування. Процес знаходиться в статистично керованому стані, якщо мінливість викликана тільки випадковими причинами. Після визначення цього прийнятного рівня мінливості будь-який відхил від нього вважають результатом дії особливих причин, які варто виявити, вилучити чи послабити.

Завдання статистичного управління процесами – забезпечення і підтримання процесів на прийнятному і стабільному рівні, гарантуючи відповідність продукції і послуг встановленим вимогам. Головний статистичний інструмент, який використовується для цього, - контрольна карта - графічний спосіб представлення і зіставлення інформації, заснованої на послідовності вибірок, що відображають поточний стан процесу, з межами, встановленими на основі внутрішньої властивості процесу мінливості.

Метод контрольних карт допомагає визначити, чи дійсно процес досяг статистично керованого стану на правильно заданому рівні або залишається в цьому стані, а потім підтримувати управління і високу ступінь однорідності найважливіших характеристик продукції або послуги за допомогою безперервного запису інформації про якість продукції в процесі виробництва. Використання контрольних карт і їх ретельний аналіз ведуть для кращого розуміння і вдосконалення технологічних процесів.

Карта Шухарта вимагає даних, які отримують вибірково з процесу через приблизно рівні інтервали. Інтервали можуть бути задані або за часом (наприклад щогодини), або за кількістю продукції (кожна партія). Карта Шухарта - це графік значень певних характеристик підгруп в залежності від їх номерів. Вона має центральну лінію (*CL*), що відповідає еталонному значенню характеристики. При оцінці того, чи перебуває процес в статистично керованому стані, еталонним зазвичай служить середнє арифметичне розглянутих даних. Карта Шухарта має дві статистичні контрольні межові лінії розташовані по обидва боки відносно

центральної лінії (CL), які називаються верхньої контрольною межею (UCL) і нижньою контрольною межею (LCL) [9].

Контрольні лінії на карті Шухарта знаходяться на відстані 3σ від центральної лінії, де σ – генеральне стандартне відхилення (встановлений стандартом допуск (дисперсія)).

Межі $\pm 3\sigma$ вказують, що близько 99,7% значень характеристики підгруп потраплять в ці межі за умови, що процес знаходиться в статистично керованому стані. Іншими словами, є ризик, що дорівнює 0,3%, що нанесена точка опиниться поза контрольних меж (при стабільному процесі).

Якщо процес статистично керований, контрольні карти реалізують метод безперервної статистичної перевірки нульової гіпотези про те, що процес не змінився і залишається стабільним.

Коли значення параметру виходить за будь-яку з контрольних меж або серія значень проявляє незвичайні структури, стан статистичної керованості піддається сумніву. В цьому випадку потрібно досліджувати і виявити не випадкові (особливі) причини, а процес можна зупинити або скоректувати.

Для виявлення причини відхилення досліджують вплив якості вихідного матеріалу або деталей, методів, операцій, умов проведення технологічних операцій, обладнання. Як тільки особливі причини знайдені і вилучені, процес знову готовий до продовження роботи.

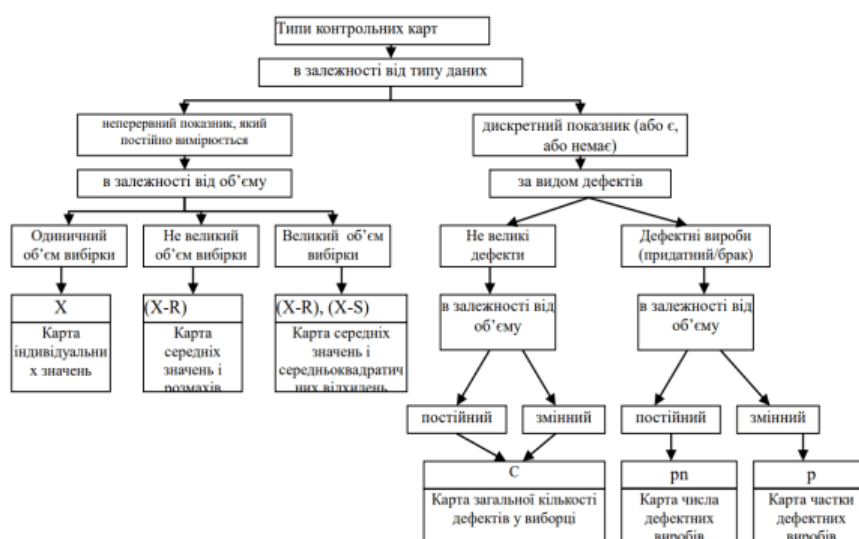


Рисунок 3.5 – Типи контрольних карт Шухарта

Дані, які представлені в контрольній карті, застосовуються для побудови гістограм, графіки одержувані на контрольних картах порівнюються з контрольними нормативами. Все це дозволяє отримувати цінну інформацію для вирішення проблем, що виникли.

При побудові контрольних карт Шухарта можливі дві ситуації:

1. Стандартні значення показників задані, тобто є значення математичного очікування і дисперсії генеральної сукупності. Це зазвичай стандартне значення показника і допустиме відхилення, які задаються в нормативній документації.

2. Стандартні значення не задані. В такому випадку використовують значення середнього арифметичного і середнього квадратичного відхилення.

Контрольні карти Шухарта бувають двох основних типів: для кількісних і альтернативних даних (рисунок 3.5). Кількісні дані представляють собою спостереження, отримані за допомогою вимірювання і запису значень деякої характеристики для кожної одиниці, що розглядається в підгрупі, наприклад довжина в метрах, опір в Омах, шум у децибелах і т.д. Карти для кількісних даних, і особливо найпростіші з них (X- і R-карти), - це класичні контрольні карти, що застосовуються для управління процесами.

Контрольні карти для кількісних даних мають наступні переваги [32]:

- Більшість процесів мають характеристики, які можуть бути виміряні, так що сфера застосування таких карт потенційно широка;
- Виміряне значення містить більше інформації, ніж просте твердження «так-ні»;
- Характеристики процесу можуть бути проаналізовані незалежно від встановлених вимог. Карти запускаються разом з процесом і дають незалежну картину того, на що процес здатний. Після цього характеристики процесу можна порівняти на відповідність до встановлених вимог;
- Хоча отримання кількісних даних дорожче, ніж альтернативних, обсяги підгруп для кількісних даних майже завжди набагато менше і при цьому їх використання набагато ефективніше, це дозволяє знизити загальну вартість контролю і зменшити часовий розрив між процесом та корегуючим впливом.

X-карта показує, де знаходиться середнє процесу і яка його стабільність. Та ж карта виявляє небажані варіації між підгрупами і варіації відносно свого середнього. R-карта виявляє будь-яку небажану варіацію всередині підгруп і служить індикатором мінливості досліджуваного процесу. Це міра спроможності і однорідності процесу.

Якщо R-карта показує, що варіації всередині підгруп не змінюються, то це означає, що процес залишається в статистично керованому стані. Таке відбувається тільки в тому випадку, якщо всі вибірки оброблялися однаково. Якщо R-карта показує, що процес вийшов з керованого стану або рівень на R-карті зростає, то це може означати, що або окремі підгрупи зазнали різної обробці, або в процесі діє кілька різних систем причинно-наслідкових зв'язків [33].

Контрольні межі карт Шухарта для кількісних даних розраховуються за формулами, наведеними на рисунку 3.6.

Формули для контрольних меж карт Шухарта з використанням кількісних даних

Статистика	Стандартні значення не задані		Стандартні значення задані	
	CL	UCL і LCL	CL	UCL і LCL
\bar{X}	\bar{X}	$\bar{X} \pm A_2 * R_2$ $\bar{X} \pm A_3 * S_3$	\bar{X}_0	$\bar{X}_0 \pm A_1 * \sigma$
R	R	$D_3 * R$ $D_4 * R$	R_0 або $d_2 * \sigma$	$D_1 * \sigma$ $D_2 * \sigma$
S	S	$B_3 * S$ $B_4 * S$	S_0 або $C_4 * \sigma$	$B_5 * \sigma$ $B_6 * \sigma$
Примітка: \bar{X}_0, R_0, S_0 - стандартні значення, \bar{X}, R, S - середні арифметичні				

Рисунок 3.6 – Формули для контрольних меж карт Шухарта з використанням кількісних даних

Для карти Шухарта потрібні дані одержані через рівні інтервали часу. Кожна підгрупа даних складається з однотипних одиниць. В нашому випадку підгрупа – це календарний місяць, а дані, що містить кожна підгрупа – це споживання теплової енергії протягом одного і того ж місяця за різні роки. Для кожної підгрупи визначається середнє арифметичне \bar{X} , а також розмах R (різниця між максимальним і мінімальним значенням підгрупи). Карта має центральну лінію, що відповідає еталонному значенню характеристики. Еталонним зазвичай служить середнє арифметичне даних.

Карта Шухарта має дві контрольні межі: верхню (ULC) та нижню (LCL). Вони розраховуються за формулами [31]:

$$ULC = \bar{X} + A_2 \cdot R \quad (3.12)$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \cdot R \quad (3.13)$$

Коефіцієнт A_2 залежить від кількості даних всередині підгрупи та від виду карти, що будується (ДСТУ ISO 8058 – 2001, таблиця 2). В нашому випадку $A_2 = 1,023$.

Вихідні дані та результати розрахунку за (3.12, 3.13) зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок за картами Шухарта

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2019	178	158	149	38	5	0	0	0	0	45	78	141
2018	170	142	163	45	0	0	0	0	0	62	131	148
2017	118	201	116	21	5	0	0	0	4	23	99	129
$\bar{X}_{сер}$	155,33	167	142,67	34,67	3,33	0	0	0	1,33	43,33	102,67	139,33
Розмах	60	59	47	24	5	0	0	0	4	39	53	19
LCL	93,95	106,64	94,59	10,11	-1,78	0	0	0	-2,76	3,44	48,45	119,90
UCL	216,7	227,36	190,75	59,22	8,45	0	0	0	5,43	83,23	156,88	158,77

Графічне зображення карти Шухарта покажемо на рисунку 3.7.

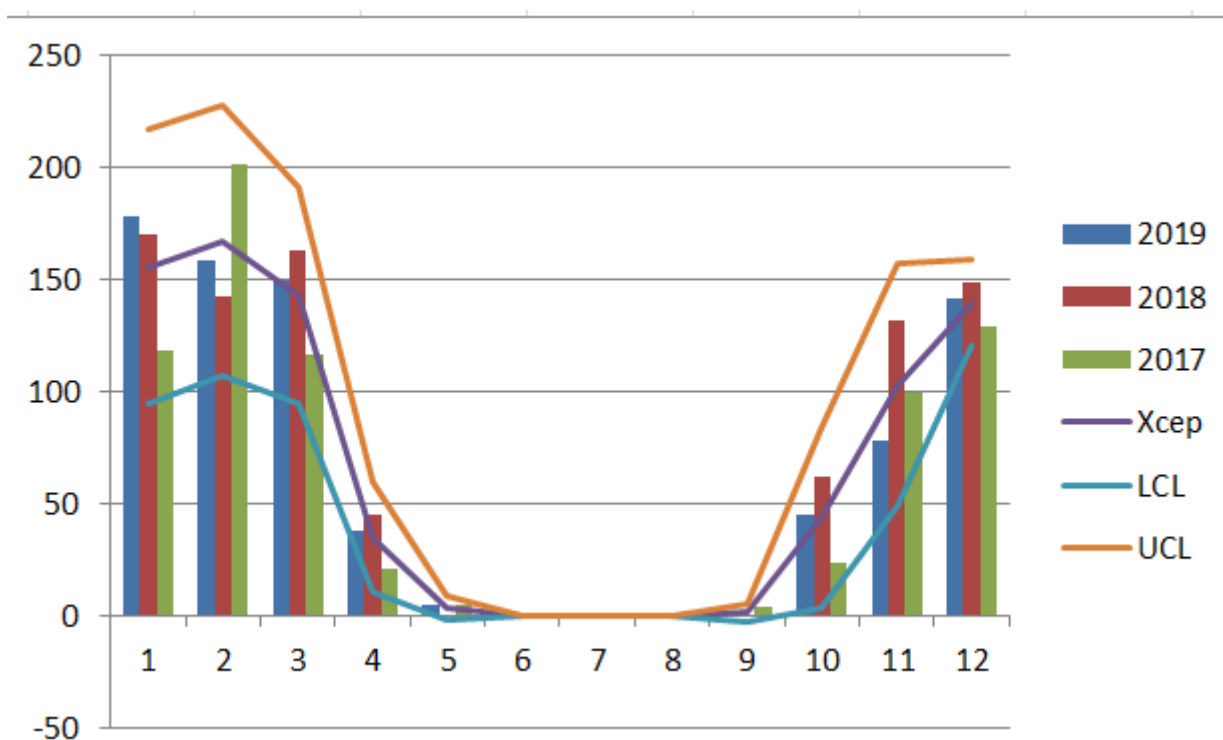


Рисунок 3.7 – Базовий рівень та контрольні межі карти Шухарта

Висновки до розділу 3

В розділі розглянуто методи контролю енергоефективності. За результатами проведеного розрахунку за допомогою багатofакторної лінійної регресії оцінено важливість впливу обраних факторів на теплоспоживання закладу, а також побудовано базову лінію та довірчий інтервал до неї, що дозволить контролювати і порівнювати споживання тепла, оцінювати ефективність впроваджених заходів. Щоб побачити тенденцію зміни в часі результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті побудовано графік CUSUM. Розглянуто метод контрольних карт Шухарта, який служить для знаходження неприродних змін в даних для процесів, які повторюються, а отже дозволяє виявити незвично високе або низьке споживання теплової енергії.

Методи контролю допомагають вчасно зафіксувати значення споживання, що виходить за межі довірчого інтервалу, та вчасно усунути його причини або наслідки. Що в свою чергу, призводить до економії енергії та скорочення проміжку часу без енергопостачання.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

В умовах постійного зростання цін на основні види енергоресурсів, особливої актуальності набувають питання енергозбереження та підвищення енергоефективності в закладах та установах, що фінансуються з міського бюджету.

Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії.

Сучасна система моніторингу дозволить виявляти неефективне енергоспоживання, прогнозувати витрати на енергоносії, планувати впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання, визначити чи існує взаємозв'язок між рівнем споживання енергетичних ресурсів та обраними факторами, збирати та накопичувати бази даних щодо енергоспоживання по закладам, вести бази характеристик будівель, що впливають на енергоспоживання, визначати фактичну економію енергоресурсів після впровадження заходів, стимулювати персонал до ощадного енергоспоживання, допомагати енергоменеджерам у прийнятті рішень щодо підвищення ефективності енергоспоживання, інтегруватися з іншими системами, зокрема з системами розрахунків за енергоносії, системами енергопостачальних організацій.

4.2 Технологічний аудит проекту

Ідея проекту полягає в впровадженні сучасної системи моніторингу енергоефективності (далі – СМЕ) навчальних закладів на рівні міста.

Вигоди на напрямки застосування наведено в таблиці 4.1.

В таблиці 4.2 наведено співставний аналіз мого продукту з існуючою системою моніторингу енергоспоживання міста Києва [34].

Таблиця 4.1 - Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система моніторингу енергоефективності навчальних закладів міста	Впровадження СМЕ в окремих бюджетних закладах міста	<ul style="list-style-type: none"> - Можливість прогнозувати витрати на енергоносії; - Можливість виявляти неефективне споживання енергоресурсів; - Можливість порівняти ефективність енерговикористання у різних будівлях; - Оцінити вплив факторів (наприклад, погодних умов) на рівень споживання енергії; - Визначити фактичну економію ресурсів після впровадження заходів з енергозбереження; - Побачити динаміку споживання енергоносіїв за будь-який період.
	Впровадження СМЕ на рівні району	
	Впровадження СМЕ на рівні міста	

Таблиця 4.2 - Визначення характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент			
Наявність навчання для користувачів	+	+		+	
Наявність мобільної версії програми (доступ зі смартфона)	+	-			+
Сервісне обслуговування та технічна підтримка	+	+		+	
Внесення показників лічильників	Ручний та автоматичний спосіб	Ручний спосіб			+
Обмежений доступ для користувачів різних рівнів	+	+		+	
Опція генерування розрахункової базової лінії	За умови наявності даних за останні три роки	-			+
Захист від вводу некоректних даних користувачем	+	-			+
Ціна	Вища	Нижча	+		
Розрахунок кадастру викидів парникових газів	+	-			+
Можливість відслідковування дотримання теплопостачальною організацією температурного графіку	За умови встановлення датчиків температури на подачу та «обратку»	-			+

Продовження таблиці 4.2

Розрахунок питомого споживання енергії	+	+		+	
Розрахунок класу енергоефективності	+	-			+
Можливість експорту даних до MS Excel	+	+		+	
Можливість внесення основних технічних даних будівлі	+	+		+	
Можливість зафіксувати точку збору даних (при заміні старого лічильника на новий продовжувати ряд даних в тому ж файлі)	+	-			+
Наявність фільтрів по типу проекту, району, призначенню, класу енергоефективності	+	Лише по району та призначенню			+

З таблиці 4.2 бачимо, що концепція мого проекту має набагато більше переваг ніж концепція конкуренту. Переваги та недоліки мого проекту наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Переваги та недоліки проекту

Переваги	Недоліки
Маленька кількість конкурентів	Вузька сфера застосування
Велика кількість навчальних закладів у місті	
Доступність обладнання	
Зобов'язання України до 2035 року створити систему збору, аналізу та використання даних про кінцеве споживання енергоресурсів	Бюрократія у бюджетному секторі

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців, од	2
Динаміка ринку	зростає
Наявність обмежень на ринку	відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не потребує стандартизації та сертифікації

Проаналізувавши ринок даного стартап-проекту (таблиця 4.4) можна зробити висновок, що кількість гравців на ринку є дуже малою, а попит на продукт збільшується через зростаючу кількість здійснених комплексних термосанацій бюджетних закладів, для відстеження та підвищення енергоефективності яких і створюється цей програмний продукт. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведена в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Моніторинг та визначення рівня енергоефективності	Держава – для окремих закладів	Низький рівень підготовки персоналу закладів	Інтуїтивний інтерфейс, наявність технічної підтримки
	Держава – для районів	Кількість товару який можна реалізувати пов'язаний з кількістю мікрорайонів/міст, на які поділяються міста України	Повнота та достовірність даних, наявність фільтрів та систематизації даних
	Держава – для міст		Обмежений доступ для користувачів різних рівнів

Проведений аналіз ринкового середовища (факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають) показано в таблицях 4.6-4.7.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Конкуренція	Створення аналогічних проектів іншими фірмами	Проведення програми популяризації СМЕ та переваг продукту
Вартість	Довготривалий період окупності	
Несумісність програмного продукту з специфічним обладнанням	Частина потенційних споживачів відмовиться від товару, або потрібно буде затратити додаткові ресурси для налагодження роботи програми	Модифікація програмного продукту, пропозиція по встановленню нового, сумісного обладнання
Помилки в роботі програмного забезпечення		Проведення додаткового тестування

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Державні замовлення	Спрощена процедура співпраці з державними органами	Проведення конференцій та презентацій для підвищення обізнаності держслужбовців; розширення асортименту продукції; реклама за виручені кошти; вдосконалення існуючих програмних продуктів
Зростання інвестицій в енергозберігаючі технології України	Розширення клієнтської бази, можливість вдосконалювати продукт	

Аналіз факторів можливостей та загроз показав, що суттєвим погрозуючим фактором може стати конкуренція, що лише мотивуватиме вдосконалювати свій продукт. Серед можливостей головною є співпраця з державними органами, яка пришвидчить процедуру впровадження продукту та розширить клієнтську базу.

В таблиці 4.8 представлено SWOT- аналіз впровадження проекту.

Таблиця 4.8 - SWOT- аналіз впровадження проекту.

S (сильні сторони)	W (слабкі сторони)
<ul style="list-style-type: none"> - проект не має рівносильних аналогів; - простота установки на експлуатації ПЗ; - технічна підтримка; - своєчасний вихід на ринок; 	<ul style="list-style-type: none"> - взаємовідносини з органами влади (бюрократія); - відсутність досвіду при роботі з таким продуктом; - вузька сфера застосування;
O (можливості)	T (загрози)
<ul style="list-style-type: none"> - Популяризація СМЕ; - Підтримка влади; - Вдосконалення продукту з подальшим підвищенням ціни; 	<ul style="list-style-type: none"> - конкуренти запропонують продукт з кращими характеристиками та/або нижчою ціною; - держава припинить фінансування енергоефективних проектів; - можливі помилки в роботі ПЗ.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів представлено в таблиці 4.9 [35].

Таблиця 4.9 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільові групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Навчальні заклади	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Райони міста	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Енергоменеджери міста	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Які цільові групи обрано: Навчальні заклади, Райони міста, Енергоменеджери міста.				

Виходячи з даного аналізу, було прийнято рішення обрання стратегії розвитку: заняття конкурентної ніші. При прийнятті стратегії зайняття конкурентної ніші (інші назви – стратегія фахівця або нішера) компанія в якості

цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація. Ніша, для того, щоб вона була привабливою для компанії, повинна задовольняти таким умовам [35]:

- бути досить прибутковою, щоб робити доцільним процес виробництва і обслуговування;
- залишатися стабільною упродовж тривалого проміжку часу;
- має бути добре захищеною, мати високі вхідні бар'єри;
- бути непривабливою для конкурентів;
- відповідати цілям і ресурсам компанії, її специфічним можливостям.

Головне завдання для компаній, що вибирають стратегію нішера або фахівця, – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару зазначені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Зрозумілий інтерфейс	Наявність підказок та інструкції користувача	Наявність навчання для користувачів
Повнота та достовірність даних	Систематизована інформація, яку можна фільтрувати	Індивідуальний підхід, створення додаткових фільтрів
Сервісне обслуговування та технічна підтримка	Наявність гарантії	Збільшення сервісних центрів
Оновлення та готовність вносити зміни в ПЗ відповідно до побажань клієнта	Готовність вдосконалювати ПЗ	Індивідуальний підхід, створення СМЕ під кожного окремого клієнта

Концепція маркетингової комунікації показана в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Концепція маркетингової комунікації

Цільові групи	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Навчальні заклади	Інтернет, місцеві ЗМІ	<ul style="list-style-type: none"> - Ощадливе використання енергоресурсів; - Зниження витрат на енергоносії; - Покращення екологічної ситуації; - Застосування сучасних технологій. 	Спонукає до раціонального споживання енергоресурсів	Зручність, простота, ефективність
Райони міста	Інтернет, місцеві ЗМІ			
Енергоменеджери міста	Інтернет, місцеві ЗМІ			

Висновки до розділу 4

Узагальнюючи проведений аналіз, можна сказати, що стартап-проект може бути комерціалізований за умови продовження підтримки державою енергоефективних проектів.

Даний продукт не має рівносильних аналогів на ринку, проте незабаром це може змінитися. Незважаючи на відносно високу вартість продукту даний проект є рентабельним. Також, слід зауважити, що через велику кількість навчальних закладів, які є цільовою групою споживачів даного продукту, у стартап-проекті наявний значний потенціал та клієнтська база.

За умови постійного вдосконалення та готовності вносити зміни до ПЗ відповідно до побажань клієнтів продукт, незважаючи на можливе зростання конкуренції, зможе залишатися на ринку, а попит на даний продукт буде тільки зростати.

ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація присвячена моніторингу рівня енергоефективності навчальних закладів.

1. Проаналізовано стан та перспективи системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів м. Києва. Наведено огляд відповідних сучасних програмних продуктів, кожен з яких має свої переваги та обирається виходячи з цілей моніторингу. Розглянуто один з методів, що використовується в такому програмному забезпеченні, а саме метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб, який дозволяє врахувати вплив кліматичних умов на оцінку ефективності теплоспоживання та фактичну економію від впроваджених заходів. В роботі розглянуто стандарт ISO 50015:2014, IDT «Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова», який являє собою рекомендації щодо впровадження системи вимірювання і верифікації рівня енергоефективності.

2. Проведено енергетичне обстеження стану та проаналізовано інженерні системи навчального закладу. Побудовано енергетичний баланс споживання енергетичних ресурсів та пораховані тепловтрати будівлі через огорожувальні конструкції, а також, аналізуючи вищеперераховані дії запропоновано заходи з енергозбереження. Побудовано базовий рівень теплоспоживання, що допоможе в майбутньому оцінити ефективність від впроваджених заходів. Наведено класифікацію закладів освіти та показники, які дозволять порівняти їх між собою за ефективністю енергоспоживання.

3. Розглянуто методи моніторингу енергоефективності. За результатами проведеного розрахунку за допомогою багатофакторної лінійної регресії оцінено важливість впливу обраних факторів на теплоспоживання закладу, а також побудовано базову лінію та довірчий інтервал до неї, що дозволить контролювати і порівнювати споживання тепла, оцінювати ефективність

впроваджених заходів. Щоб побачити тенденцію зміни в часі результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті побудовано графік CUSUM. Розглянуто метод контрольних карт Шухарта, який служить для знаходження неприродних змін в даних для процесів, які повторюються, а отже дозволяє виявити незвично високе або низьке споживання теплової енергії.

4. За результатами магістерської дисертації розроблено стартап-проект з вдосконалення наявної системи моніторингу енергоефективності навчальних закладів міста, який може бути комерціалізований, незважаючи на можливе зростання конкуренції, за умови продовження підтримки державою енергоефективних проектів та готовності вносити зміни до програмного забезпечення відповідно до побажань клієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Управління економічного та інтеграційного розвитку. Підвищення енергоефективності в будівлях навчальних закладів м.Івано-Франківська [Електронний ресурс] / Управління економічного та інтеграційного розвитку – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mvk.if.ua/kperozv/32062>.
2. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є.М.Іншеков, Є.Є.Нікітін, М.В.Тарновский, А.В.Чернявський. – К.: Поліграф плюс, 2014. – 238с.
3. Давиденко Л. В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства / Л. В. Давиденко. – Київ: Енергетика: економіка, технології, екологія., 2015.
4. Що таке енергомоніторинг і як за його допомогою зменшити споживання енергії в місті [Електронний ресурс] // Kyiv Smart Environment. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kyivsmartcity.com/news/energomonitoring/>.
5. Салихов Т.П., Худаяров М.Б. Энергомониторинг как инструмент повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий. Энергосбережение и водоподготовка. - 2015. №5(97). С. 54-60.
6. Інформаційна система моніторингу енергоефективності будівель http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24316/2/LPE_2018_Shabdinov_M-Information_system_of_101-102.pdf
7. Энергетический мониторинг как механизм управления функционирования системы энергосбережения в бюджетной сфере / В.П. Розен, А.В. Чернявский, Е.А. Ячник, А.А. Войналович // Промислова електроенергетика та електротехніка (ПРОМЕЛЕКТРО). - №1. - 2010. - С.54-60.
8. Експертний огляд програмного забезпечення для енергомоніторингу та енергоменеджменту [Електронний ресурс] // Асоціація «Енергоефективні міста України». – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://enecities.org.ua/upload/files/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5>

%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4%202018(2).pdf.

9. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні» [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <https://decentralization.gov.ua/energoeffect/enerhomenedzhment>

10. ISO 50015:2014, IDT Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова.

11. Методика визначення базового рівня споживання енергоресурсів та розрахунку економії/перевитрат енергоресурсів [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://druisp.gov.ua/component/documents/5554:pro-zatverdzhennya-metodiki-viznachennya-bazovogo-rivnya-spozhyvannya-energoresursiv-ta-rozrakhunku-ekonomiji-perevitrat-energoresursiv>.

12. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. [Чинний від 2016-04-29]. Київ, 2016. 51 с. (Національний стандарт України).

13. ДСТУ ISO 50001:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та керівництво з використання. [Чинний від 2018-08-21]. Київ, 2016. 27 с. (Національний стандарт України).

14. Запровадження системи енергетичного менеджменту в бюджетних установах комунальної власності [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://ovruch.in.ua/2019/02/27/proekt-polozhennya-pro-zaprovadzhennya-systemy-energetychnogo-menedzhmentu-v-byudzhethnyh-ustanovah-komunalnoyi-vlasnosti-ovruthskoyi-miskoyi-rady/>.

15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Електронний ресурс] // Мінрегіонбуд України. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929.

16. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Київ, 2017. - 11 с.

17. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення. [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2016. 40 с. (Національний стандарт України).

18. Енергетичний аудит: Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Прокопенко В.В. – Київ. НТУУ «КПІ». – 2015. – 85 с. – Режим доступу: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_4_%D0%90%D1%83%D0%B4%D0%B8%D1%82.pdf

19. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. 50 с. (Національний стандарт України).

20. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22 червня 2017 р. №2118-VIII // Відомості Верховної Ради України. – 2017, №33, с.359.

21. Кліматичні дані по м. Києву [Електронний ресурс] // ЦГО. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv.

22. Тривалість світлового дня [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://voshod-solnca.ru/sun/%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B2>.

23. Багатофакторна регресія 1 Сутність багатофакторної регресії та порядок її побудови [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://ignorik.ru/docs/index-1431466.html>.

24. НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК «СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ» [Електронний ресурс] // «Альма-матер». – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1818/1/Zavgorodniaya.%20F5.pdf>.

25. Регресійний аналіз в задачах систем енергетичного менеджменту [Текст]: метод. вказівки до виконання курсової роботи для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: Г.Г. Стрелкова. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – С. 35

26. Квантили розподілу Фішера [Електронний ресурс] // Сибірський інститут управління. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/3795082/page:3/>.

27. Таблиця критичних значень t-критерія Стьюдента [Електронний ресурс] // Математична статистика для психологів. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://statpsy.ru/t-student/t-test-tablica/>.

28. Контроль ефективності енерговикористання. Методи контролю ефективності енерговикористання [Електронний ресурс]: метод. вказівки до виконання розрахункової роботи для студ. усіх форм навчання напрямів підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»; 6.050601 «Теплоенергетика»; 7.05070103; 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» / Уклад.: В.Ф. Находов, О.В. Бориченко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 60 с.

29. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/1257/1/V74_P067-077.pdf.

30. ДСТУ ISO 7870-4:2016 Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 4. Карти кумулятивних сум (ISO 7870-4:2011, IDT) [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65877.

31. ДСТУ ISO 8258-2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта [Електронний ресурс] // ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/34003/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_ISO_8258-2001.

32. Статистичні контрольні карти [Електронний ресурс] // НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/file.php/1268/SPC4/SPC4_7.html.

33. Застосування контрольних карт Шухарта [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://vc.ru/marketing/41825-primenenie-kontrolnyh-kart-shuharta-dlya-kolichestvennogo-analiza-trafika-i-lyubyh-dannyh-voobshche>.

34. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016.

35. Розроблення стартап-проекту: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» /О.А. Гавриш, К.О. Бояринова, К. О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.